

# SNI

DOKUMENTASI

Standar Nasional Indonesia

SNI.05-3000-1992

---

DOKUMENTASI  
PUSIDO BSN

## MENARA PENDINGIN AIR – RANCANGAN TERMAL DAN FUNGSIONAL





## **MENARA PENDINGIN AIR - RANCANGAN TERMAL DAN FUNGSIONAL**

### **1. RUANG LINGKUP**

- 1.1. Standar ini meliputi definisi, simbol dan satuan, prinsip-prinsip rancangan termal, jenis-jenis menara pendingin dan kegunaannya, penempatan pengaturan jarak dan perimbangan lingkungan, persyaratan operasi yang ditentukan, persyaratan rancangan termal, persyaratan hidrolis dari menara pendingin, peralatan mekanis yang dibutuhkan, tindakan pencegahan.
- 1.2. Standar ini menetapkan persyaratan untuk rancangan termal dan fungsional dari menara pendingin industri dengan aliran udara paksa dan aliran udara alamiah.

### **2. DEFINISI**

Definisi sesuai dengan SNI.08-2998-1992, *Tata Nama Menara Pendingin Air*

### **3. SIMBOL DAN SATUAN**

Simbol dan satuan lihat Tabel I

### **4. PRINSIP-PRINSIP RANCANGAN TERMAL**

#### **4.1. Proses Pendingin**

Menara pendingin air adalah sebuah alat penukar kalor dimana air hangat jatuh secara gravitasi melalui aliran udara yang suhunya lebih rendah. Perpindahan kalor dari air ke udara terjadi melalui dua cara:

- a) Penguapan, sebagai kalor laten uap air
- b) Pengambilan kalor sensibel dengan cara memanaskan udara yang mengalir pada menara.





Pada umumnya 80 % pendinginan terjadi melalui penguapan dan 20 % dengan perpindahan kalor sensibel. Perpindahan kalor dari air yang efektif terjadi melalui lapisan batas udara jenuh yang bersentuhan dengan permukaan air. Udara ini jenuh pada suhu air. Dari lapisan batas udara jenuh ini perpindahan kalor terjadi pada massa udara yang mengalir melalui menara.

Demi efisiensi sangat penting agar luas permukaan air yang bersentuhan dengan udara dan waktu bersentuhan harus sebesar mungkin. Hal tersebut bisa diperoleh dengan membentuk butir-butir air sebanyak mungkin dengan cara memercikan air berulang-ulang pada suatu jenis pengisi menara, atau dengan mengalirkan air dalam bentuk lapisan tipis diatas permukaan yang panjang.

Aliran udara terjadi baik oleh adanya tiupan angin, oleh isapan termal atau dengan cara-cara mekanis. Arah aliran udara dapat berlawanan dengan arah aliran air (*counter flow*) atau dapat juga menyilang tegak lurus dengan aliran air (*cross flow*). Meskipun cara analisa berbeda untuk kondisi *counter flow* dan *cross flow* namun proses perpindahan kalor rancangan terjadi kondisi aliran campuran. Pola aliran-aliran ini ditunjukkan dalam Gambar 1.

Teknologi menara saat ini mengandalkan pada kenyataan bahwa dengan kesalahan yang dapat diterima, pengaruh perpindahan kalor penguapan dan sensibel dapat dikombinasikan menjadi satu yang tergantung pada perbedaan entalpi.

Perbedaan tersebut adalah antara entalpi dari lapisan udara pada permukaan air dan entalpi dari keseluruhan massa udara yang mengalir di menara. Perbedaan entalpi ini bervariasi menurut titik-titik pengukuran pada menara, tetapi pada tiap titik tersebut akan memberikan potensial entalpi atau gaya dorong (*draving force*) untuk proses perpindahan kalor.

Kondisi udara dan lapisan udara - air, sepanjang perjalanannya menara, dapat digambarkan dalam diagram psikrometrik seperti Gambar 2.





Rentang pendinginan menara sesuai dengan perbedaan suhu lapisan udara - air antara saluran masuk dan saluran keluar menara.

Udara masuk ke menara mempunyai sifat bola basah dan kering tergantung pada kondisi udara ambien menara. Umumnya pada kondisi tidak jenuh, dan mendekati kondisi jenuh setelah melewati menara. Dapat dianggap bahwa kondisi keluar jenuh pada semua daerah kecuali pada iklim sangat kering.

Entalpi udara yang masuk dianggap dengan kesalahan yang dapat diterima dapat disamakan dengan entalpi udara jenuh pada suhu bola basah. Dalam hal perbedaan entalpi pada perpindahan kalor cukup diperhatikan suhu bola basah dari udara ambien.

Suhu bola kering harus diperhatikan pada menara yang aliran udaranya disebabkan oleh isapan termal. Isapan termal diartikan sebagai perubahan kerapatan udara pada udara masuk sampai udara keluar dari menara dikalikan dengan tinggi selubung (kulit) efektif, dan suhu bola kering serta bola basah merupakan faktor penting dalam menentukan kerapatan (density) udara ambien.

Secara teoritis air bisa didinginkan sampai batas suhu bola basah ambiennya, hal ini hanya dapat terjadi pada menara yang besarnya tak terhingga, dalam prakteknya suhu air yang didinginkan ulang mendekati suhu bola basah udara ambien. Pendekatan bervariasi antara  $3^{\circ}\text{C}$  pada pendinginan dalam industri kimia berat sampai kondisi  $10^{\circ}\text{C}$  atau lebih untuk kondisi yang lebih ringan.

Pendekatan tersebut ditetapkan hanya pada kondisi rancangan udara, dan naik atau turun dengan bertambah dinginnya atau hangatnya udara ambien.

#### 4.2. Diagram Perpindahan Kalor

Kondisi aliran yang berlawanan seperti Gambar 2 menggambarkan hubungan antara perubahan yang terjadi didalam menara aliran berlawanan dengan suhu udara. Untuk mengubah gambar tersebut menjadi





diagram perpindahan panas enthalpi awal dan akhir dari aliran udara yang melalui menara dapat dipindahkan hingga berturut-turut memotong ordinat suhu lapisan tipis air masuk dan keluar (lihat Gambar 3).

Gambar 3 tersebut penting untuk diperhatikan bahwa dasar diagram tersebut dapat dianggap menjadi suhu air. Diagram tersebut meskipun berlaku untuk entalpi udara, tetapi tidak berlaku untuk mengukur suhu udara. Diagram tersebut walaupun dapat digunakan untuk menentukan entalpi tapi tidak boleh digunakan untuk mengukur suhu udara. Perbedaan entalpi antara udara dan air boleh diukur secara langsung.

Bagian yang berhubungan dengan garis jenuh disebut juga sebagai "garis air" dan garis yang menghubungkan nilai entalpi awal dan akhir disebut garis udara. Perbedaan ordinat antara dua jenis air dan garis udara tersebut menunjukkan ukuran dari daya dorong pada suhu air tertentu, dan harga rata-rata dari setiap perbedaan ordinat didalam diagram, merupakan daya dorong rata-rata ( $h_m$ ).

Di dalam setiap perencanaan menara pendingin, kondisi udara ambien dimana menara pendingin akan beroperasi yaitu titik A, diketahui pada diagram perpindahan kalor. Titik B dan C bisa diketahui dari kondisi air yang dibutuhkan. Titik D merupakan besaran yang tidak di ketahui, karena tergantung pada keseimbangan kalor di dalam menara pendingin :

Kalor yang diperoleh oleh udara = Kalor yang dilepas oleh air per satuan luas pengisi

$$G \Delta h = c L \Delta t \dots\dots\dots (1).$$

sehingga dapat diperoleh.

$$\frac{\Delta h}{\Delta t} = \frac{L}{G} c \dots\dots\dots (2).$$





Dalam Gambar 2, maka suhu udara masuk dan suhu udara keluar dihubungkan oleh garis yang membentuk kemiringan sebesar  $c.L/G$ .

Dengan demikian harga  $L/G$  perlu ditetapkan sebelum diagram perpindahan kalor diselesaikan. Pada hakekatnya karena kalor total yang dibuang didalam menara telah diketahui berdasarkan kebutuhan pusat pendinginan, maka didapat harga  $\Delta t$  dari beban tertentu, sehingga harga  $G$  sebagai besaran variabel dapat dipilih untuk setiap perencanaan menara.

Dalam hal aliran udara ditimbulkan secara mekanik, harga  $G$  dapat ditetapkan dan dapat dianggap menjadi besaran yang tetap untuk setiap kondisi udara masuk. Tetapi, dimana massa udara  $G$  tergantung pada isapan termal, harga tersebut berubah-ubah menurut perubahan kondisi udara, dan oleh karenanya harga tersebut hanya berlaku pada kondisi udara perencanaan.

Pengisi merupakan sarana perpindahan kalor didalam menara pendingin. Pengisi akan mempunyai koefisien perpindahan sebagai koefisien keseluruhan ( $K_a$ ) karena tidak mungkin dilakukan pengukuran koefisien permukaan udara-air didalam pengisi. Angka tersebut merupakan gabungan dari koefisien perpindahan massa ( $K$ ) dengan luas permukaan perpindahan ( $a$ ) per satuan volume menara yang diisi sehingga satuannya ( $K_a \text{ kg/m}^3\text{s}$ ).

Kapasitas perpindahan kalor per satuan luas pengisi dan per satuan waktu, dapat didefinisikan sebagai berikut:

Koefisien keseluruhan ( $K_a$ ) x volume pengisi ( $V$ ) x gaya dorong rata-rata ( $h_m$ ).

Setiap tahap dalam keseluruhan proses perpindahan kalor dapat dibuat perumusan sebagai berikut :

Kalor yang dilepas oleh air = Kalor yang berpindah dalam pengisi = Kalor yang diambil oleh udara atau





dirumuskan sebagai berikut:

$$L \cdot c \cdot \Delta t_c = k_a \times V \times h_m = G \Delta h \dots\dots\dots (3).$$

Dari persamaan (3) tersebut dapat diperoleh hubungan sebagai berikut :

$$\frac{k_a V}{L} = \frac{c \cdot t}{h_m} \quad \text{atau jika diintegralkan} \\ \text{rentang pendinginan } t_1 - t_2$$

$$\frac{k_a \cdot V}{L} = \int_{t_1}^{t_2} \frac{c \cdot dt}{h_L - h_G} \dots\dots\dots (4).$$

Untuk setiap harga L/G yang mendefinisikan garis udara, ruas kanan dari persamaan tersebut dapat dilihat sebagai fungsi yang hanya tergantung pada unjuk kerja yang dituntut dari menara pendingin, khususnya dalam hal kondisi suhu air masuk, rentang  $\Delta t$ , dan suhu udara masuk.

Untuk ruas kiri hanya merupakan fungsi dari kemampuan setiap rancangan menara, untuk dapat memenuhi tugasnya berdasarkan karakteristik pengisi.

Kedua fungsi diatas yaitu  $K_a V/L$  (mewakili susunan pengisi) dari  $c \cdot \Delta t/h_m$  (mewakili kondisi yang dibutuhkan jika digambarkan dengan sumbu dasar L/G) memperlihatkan kurva yang dikenal sebagai kurva karakteristik dan kurva beban. Perpotongan kurva tersebut menunjukkan harga L/G, dimana susunan pengisi akan menghasilkan perpindahan kalor yang sama dengan yang diminta oleh kurva beban tersebut.

Karena Kombinasi tak terbatas dari nilai  $\Delta t$ ,  $t_{WB}$  merupakan suatu syarat proses pendinginan maka jumlah kurva beban dan suhu pendekatan ( $t_2 - t_{WB}$ ), yang dapat mempunyai variasi yang tak terbatas. Setiap titik pada kurva permintaan memerlukan penyelesaian persamaan (4) untuk menghasilkan  $h_m$  pada harga L/G. Proses ini akan diulangi untuk





berbagai harga L/G untuk menghasilkan bagian kurva permintaan yang sesuai.

Jika tidak tersedia kurva standar, integrasi boleh dilakukan dengan tingkat ketelitian yang dapat diterima, untuk setiap kondisi yang ditetapkan, dan L/G dengan mempergunakan pendekatan numerik "Tchebycheff" lihat SNI.05-2999-1992 atau metode lain dengan ketelitian yang dapat diterima.

Kurva beban tersebut, dengan  $K_a$  V/L sebagai ordinat dan L/G sebagai absis, memberikan nilai  $K_a$  V/L yang diperlukan untuk setiap penggunaan tertentu yang ditetapkan dalam hubungannya dengan harga perbandingan air-udara yang sesuai.

Karena menentukan pemilihan perbandingan air dan udara yang sesuai umumnya merupakan hak pembuat menara, umumnya tidak perlu memberikan kurva beban dalam spesifikasi menara pendingin.

Kurva karakteristik dari sesuatu menara pendingin tertentu adalah merupakan hasil evaluasi dari percobaan, karena tidak adanya cara perhitungan yang teliti untuk menentukan  $K$  dan  $a$  secara terpisah dari suatu rencana sebelum pengujian.

Terdapat cukup bukti bahwa sampai batas tertentu kurva karakteristik tergantung pada nilai  $G$ . Tetapi pada tingkat kesalahan yang dapat diterima dapat diasumsikan bahwa untuk harga yang telah ditetapkan karakteristik tunggal harga  $V$  dan  $L_a$  yang tetap, ada satu kurva karakteristik yang dapat dipertahankan untuk semua variasi beban dan keadaan udara. Dalam menentukan parameter akhir dari perencanaan kurva beban yang disyaratkan dibandingkan dengan karakteristik pengisi yang telah diuji dan dipilih nilai L/G yang sesuai untuk kedua kurva tersebut diatas. Didalam hal aliran mekanis, suatu nilai  $G$  kemudian dipilih dan tahanan aliran udara diperkirakan pada perbandingan L/G tersebut diatas.

Sebuah kipas yang cocok kemudian dipilih untuk dapat mengatasi tahanan pengisi dan tahanan-





tahanan lainnya didalam menara sehingga parameter perencanaan menjadilengkap. Kecuali untuk perubahan kerapatan massa yang kecil yang mempengaruhi keluaran kipas, untuk menara aliran mekanis nilai  $G$  tidak tergantung pada kondisi atmosfer, dan pada  $L$  konstan harga  $L/G$  tetap konstan untuk semua perubahan atmosfer.

Karena itu untuk aliran rancangan  $L$ , kurva beban dapat diubah digantikan pada bentuk kurva unjuk kerja untuk perencanaan menara tertentu, pada sumbu ordinat dan sumbu absis yang lebih berarti untuk pemakai menara.

Pemakai pada umumnya ingin tahu bagaimana unjuk kerja, khususnya dalam hal suhu air yang didinginkan, yang boleh diharapkan dengan variasi suhu bola basah serta beban air menara, informasi ini harus diberikan dalam bentuk seperti pada Gambar 5 dan 6.

Kurva yang diperlihatkan dalam Gambar 5 dan 6 tersebut adalah contoh dan meliputi variasi aliran air antara 80 % dan 110 %. Dari kurva-kurva tersebut pendekatan suhu serta suhu air masuk dapat ditetapkan.

Daerah yang dijamin pabrik pembuatnya harus dinyatakan pada kurva ini sesuai dengan SNI.05-2999-1992, *Menara Pendingin Air-CaraUji*. Operasi menara diluar beban air ini harus selalu ditanyakan kembali kepada pembuat untuk lebih meyakinkan bahwa distribusi serta perencanaan pengisi cocok untuk variasi kondisi kerja yang diperkirakan.

#### 4.3. Perhitungan Menara Aliran Silang.

Persamaan perpindahan kalor (3) berlaku untuk setiap bagian dari menara pendingin aliran berlawanan. Bilamana aliran udara horisontal memotong aliran air kebawah, maka persoalan menjadi dua dimensi dan perhitungannya harus mencakup perubahan kondisi air serta udara yang terjadi dalam arah horisontal dan vertikal.





Persamaan (3) tersebut diatas tetap berlaku untuk tiap elemen volume pada setiap lokasi dalam pengisi, tetapi untuk perhitung secara keseluruhan secara melibatkan perhitungan satu persatu yang dimulai dari atas pada awal udara masuk dan bertambah secara bertahap dengan sejalan dengan bertambahnya elemen horisontal dan vertikal, berakhir pada ujung yang berlawanan dan yang lebih rendah dari penampang filernya. Perhitungan demikian hanya dilakukan oleh komputer terutama jika sejumlah cara percobaan diperlukan untuk mengoptimasikan rancangan.

Walaupun demikian, kurva beban yang disebutkan dalam bab 5.2. yang menunjukkan kesulitan pendinginan relatif, kebetulan tampaknya berlaku juga untuk pendinginan aliran silang dengan catatan perbandingan L/G diambil sebagai perbandingan keseluruhan dari aliran masa air dan udara yang melalui menara. Didalam batas-batas tertentu maka dapat digunakan untuk menentukan efek dari perubahan-perubahan kecil dari kondisi kerja yang mungkin diperlukan didalam evaluasi analisis dari hasil uji unjuk kerja. Cara-cara tersebut dinyatakan didalam SII ..... (BS 4485) bagian 2.

#### 5.4. Perhitungan Menara Aliran Alamiah.

Laju aliran kerja aliran udara operasi didalam menara aliran almiah ditentukan dengan mempersamakan aliran udara yang dirangsang oleh perubahan kerapatan udara yang berhubungan dengan ketinggian selubung, terhadap tahanan total aliran udara akibat selubung pengisi, air dan lain-lain pada suatu aliran udara.

Jadi: Isapan menara = tahanan total pada suatu aliran udara.  
atau dirumuskan menjadi :

$$H_e \Delta \rho = \frac{NG^2}{2 g \rho}$$





$H_e$  : tinggi - efektif dari selubung, biasanya diukur dari bagian tengah-tengah pengisi sampai puncak dari selubung.

$N$  : jumlah velocity head yang mewakili tahanan sistem.

Untuk setiap menara tertentu, berlaku:

$$G^2 \propto \rho A \rho$$

atau

$$G \propto \sqrt{\rho A \rho}$$

Di dalam kondisi beban air dan rentang selang pendinginan konstan harga dan bervariasi sesuai dengan kondisi suhu ambien, keduanya bertambah dengan menurunnya suhu sekeliling dan sebaliknya, dengan konsekuensi berubahnya  $G$  dan  $L/G$ .

Variasi unjuk kerja dari menara aliran udara alamiah dengan kondisi ambien oleh karenanya berbeda dari menara aliran udara paksa, yang memberikan pendekatan suhu yang lebih kecil pada suhu ambien dibawah suhu rancangan dan pendekatan suhu lebih besar untuk diatas rancangan. Sifat ini penting dalam evaluasi dua alternatif dimana unjuk kerja pada seluruh daerah suhu sepanjang tahun sedang dipertimbangkan.

Prosedur perancangan menara aliran udara alamiah mirip dengan perancangan pada menara aliran udara paksa, yaitu perbandingan  $L/G$  didapat dari perpotongan kurva beban dan karakteristik pengisi yang sesuai untuk menara.

Persamaan (5) dapat menghasilkan ketinggian selubung untuk suatu percobaan harga  $G$  dan perhitungan bertahap dibuat untuk sampai pada perbandingan ketinggian dan diameter yang sesuai untuk menara. Hal ini bisa dipercepat dengan mempergunakan besaran,  $A \sqrt{H_e}$  (yang konstan). Hubungan ini untuk suatu kerja yang ditentukan dari konfigurasi menara dapat diuraikan dari persamaan (5).





Penentuan ukuran menara aliran udara alamiah dipengaruhi oleh faktor-faktor empiris yang memperhitungkan kombinasi kondisi aliran silang dan aliran berlawanan yang terjadi pada rancangan umumnya.

Kurva-kurva unjuk kerja untuk menara aliran udara alamiah harus memuat suhu bola kering sebagai parameter tambahan. Hal ini umumnya diperlihatkan lebih mudah dengan depresi suhu bola basah ( $t_{DB} - t_{WB}$ ).

Suatu gambaran yang menyeluruh dari unjuk kerja yang meliputi variasi normal dari semua parameter dapat diperlihatkan didalam kelompok kurva seperti ditunjukkan pada Gambar 6.

## 5. JENIS-JENIS MENARA PENDINGIN DAN KEGUNAANNYA.

### 5.1. U m u m.

Ada beberapa jenis menara yang digunakan didalam pendinginan evaporasi (uap), tetapi pada umumnya cenderung dibagi dua kelompok, didasarkan pada metode aliran udara pada menara, yaitu:

- a) Aliran alamiah;
- b) Aliran mekanis.

Kedua-duanya dapat berupa aliran berlawanan atau aliran silang (lihat gambar 1 dan gambar 7).

Suatu kombinasi aliran alamiah dan aliran paksa dapat digunakan secara menguntungkan pada instalasi besar yang membutuhkan tugas pendinginan yang sulit. Hal ini untuk mengatasi batasan unjuk kerja dari aliran alamiah dan masalah-masalah pengkabutan dari sirkulasi ulang dari menara aliran paksa .

Unjuk kerja dari suatu pengisi menara ditentukan oleh laju sirkulasi air dan aliran udara relatif yang melaluinya, yaitu perbandingan L/G.





Makin kecil perbandingan L/G, berarti makin banyak kalor yang diambil dari air atau makin dekat suhu air pada suhu bola basah udara.

Tingkat kesulitan dari proses pendinginan dapat dianggap ditentukan terutama oleh kombinasi rentang pendinginan dan pendekatan suhu, yaitu rentang pendinginan yang besar dengan pendekatan suhu yang kecil merupakan proses yang sulit, dan sebaliknya rentang pendinginan yang kecil dan pendekatan suhu besar merupakan proses yang mudah. Perbandingan L/G yang rendah berkaitan dengan tugas pendinginan yang sulit, melibatkan beban air yang rendah dan laju udara yang tinggi untuk mana suatu pengaturan lapisan kisi pengisi adalah sangat menguntungkan.

Disini air dalam mengalir suatu lapisan yang tipis diatas permukaan pengisi yang diperluas, memungkinkan udara mengalir melalui celah pengisi dengan tahanan yang rendah.

Sebagai kemungkinan lain, pendinginan yang sama dapat dicapai dengan jarak rapat dari pengisi penyebar dan dengan laju udara rendah digabung dengan penambahan ketinggian pengisi, walaupun hasilnya membesarkan tahanan udara.

Pengendalian tugas pendinginan memungkinkan beban air yang lebih berat pada semua pengisi. Dalam hal pengisi lapisan, berarti suatu lapisan air yang lebih tebal tanpa pertambahan luas bidang perpindahan atau pemakaian pelat plastik yang memberikan suatu daerah yang lebih besar per satuan isi tanpa perlu bertambahnya tahanan aliran.

Pengendalian yang lebih lanjut dari tugas pendinginan menyebabkan pola pengaturan aliran silang menjadi lebih baik, dimana proses pendinginan relatif rendah diimbangi oleh konstruksi yang ekonomis dan tahanan aliran yang rendah terhadap aliran udara, bahkan pada beban air yang sangat tinggi.





Pemakaian aliran udara alamiah juga tergantung pada perbandingan L/G tertentu yang diperlukan artinya tingkat dan kesulitan pendingin. Laju aliran udara yang tinggi yang berhubungan dengan tugas pendinginan yang sulit melibatkan pembuangan udara dengan perbedaan kerapatan yang kurang untuk mengambil keuntungan efek cerobong dari suatu menara aliran alamiah.

Suatu gaya termal yang cukup dapat diperoleh hanya dengan tugas-tugas pendinginan yang lebih rendah. Segi ekonomis dari aliran alamiah adalah juga dipengaruhi oleh kerak, laju aliran udara dan oleh karenanya unjuk kerja dari setiap unit dari daerah pengisi yang bertambah dengan ukuran menara disebabkan pertambahan tinggi cerobong. Oleh karena itu tidak dapat aliran alamiah tidak dapat diharapkan ekonomis untuk laju sirkulasi lebih rendah dari  $1,25 \text{ m}^3/\text{S}$  dan itupun hanya untuk tugas pendinginan yang sedang sampai ringan saja.

Laju udara melalui menara aliran alamiah berubah secara terbalik dengan suhu sekeliling, sedangkan menara aliran paksa ber operasi pada laju udara konstan. Hal ini menghasilkan karakteristik unjuk kerja yang berbeda.

## 5.2. Menara aliran alamiah

Menara jenis ini bergabung kepada gaya-gaya alamiah untuk menghasilkan aliran udara melalui pengisi.

### 5.2.1. Menara Atmosferik

Aliran udara yang melalui menara hampir keseluruhannya tergantung kepada gaya-gaya angin alamiah.

Air jatuh pada saluran-saluran vertikal suatu pengisi dari kayu sementara udara mengalir dalam arah horisontal, menghasilkan suatu aliran silang untuk mendapatkan efek pendinginan. Kecepatan angin merupakan suatu faktor kritis





didalam perencanaan termal dan harus selalu dinyatakan. Jenis menara ini adalah jarang digunakan.

#### 5.2.1.1. Keuntungan

Tidak diperlukan perawatan mekanik dan elektrik.

#### 5.2.1.2. Kerugian.

- a). Konstruksi yang sempit menghasilkan menara yang sangat panjang;
- b). Karena kapasitas termal yang rendah, biaya awal tinggi;
- c). Diperlukan tempat pada sisi yang tidak terhalang dari angin.
- d). Dengan perubahan kecepatan dan arah angin suhu air dingin bervariasi secara besar.
- e). Rugi percikan dapat menjadi besar pada kondisi-kondisi angin kencang.

#### 5.2.2. Menara Hyperbolik [lihat Gambar 7(a) dan Gambar 1]

Aliran udara terjadi akibat berkurangnya kerapatan dari kolom udara panas jenuh dalam selubung menara. Akibat sekunder dari kecepatan angin dapat mempengaruhi aliran udara tetapi umumnya diabaikan dalam rancangan menara. Pemilihan aliran berlawanan, aliran campuran atau aliran silang ditentukan oleh lokasi dan pertimbangan ekonomis.

##### 5.2.2.1. Keuntungan-keuntungan.

- a). Suatu menara hyperbolik sangat sesuai dengan laju aliran air yang besar.
- b). Pembuangan uap pada elevasi yang tinggi menghapuskan kemungkinan pengkabutan dekat muka tanah dan sirkulasi ulang.
- c). Untuk beban termal yang besar, tidak memerlukan tempat yang luas seperti menara aliran mekanis jamak.





- d). Tidak bergantung dari kecepatan dan arah angin apabila dibandingkan dengan menara atmosferik.
- e). Tidak ada kebisingan kipas.
- f). Tidak diperlukan perawatan mekanik atau elektrik.

#### 5.2.2.2. Kerugian.

- a). Efek cerobong berkurang bila kelembaban menurun dan ini mungkin suatu kerugian pada daerah iklim kering dan panas.
- b). Pendekatan yang kecil tidak ekonomis.
- c). Selubung yang sangat tinggi yang sering dipasang pada instalasi-instalasi jamak merupakan suatu kerugian tambahan.

#### 5.3. Menara aliran mekanis (Gambar 7 (b), (c) dan (d) dan Gambar 1).

Kipas-kipas digunakan untuk menghasilkan aliran udara melalui menara. Hal ini memungkinkan para perancang untuk menentukan laju aliran udara tanpa bergantung pada kondisi-kondisi yang lain. Laju aliran dan kecepatan udara yang benar mungkin dipilih untuk memenuhi permintaan rancangan yang bervariasi. Beberapa alternatif penempatan kipas-kipas dalam konstruksi menara dipilih untuk memperoleh keuntungan tertentu; juga terdapat 2 pola dasar untuk aliran udara-air, yaitu aliran berlawanan dan aliran silang (Gambar 1).

##### 5.3.1. Keuntungan-keuntungan.

- a). Laju aliran udara dapat dikendalikan.
- b). Biaya awal yang minimum, cocok untuk penerapan dengan faktor pembebanan yang rendah.





- c). Pembebanan air yang tinggi dapat dicapai tanpa tergantung ukuran menara.
- d). Tugas-tugas sulit (rentang pendinginan yang besar dengan pendekatan suhu yang kecil) lebih mudah dicapai dari pada aliran alamiah.
- e). Kontruksi yang rendah.

#### 5.3.2. Kerugian-Kerugian

- a). Memerlukan daya untuk mengoperasikan kipas
- b). Memerlukan perawatan mekanik dan elektrik
- c). Udara lembab dan hangat keluar menara dapat bersirkulasi ulang.
- d). Untuk instalasi menara jamak yang besar, luas dasar total yang dibutuhkan lebih besar dari menara hiperbolik aliran alamiah pada tugas yang sama. Hal tersebut disebabkan oleh jarak yang perlu antar menara untuk memperkecil sirkulasi ulang.
- e). Kabut dan percikan dapat menimbulkan kesulitan pada elevasi rendah;
- f). Kebisingan kipas mungkin menimbulkan gangguan.

#### 5.3.3. Menara aliran udara paksa (Gambar 7 (d) dan Gambar 1).

Menara aliran udara paksa adalah menara aliran udara mekanis yang mempunyai kipas satu atau lebih pada saluran masuk, umumnya dibatasi hingga kapasitas  $0,3 \text{ m}^3/\text{det}$ .

##### 5.3.3.1. Keuntungan-Keuntungan.

- a). Getaran rendah, karena komponen yang





berputar dipasang dekat dasar menara.

- b). Unit-unit fan terpasang dalam aliran udara kering; hal ini mengurangi persoalan kelem-baban yang berkondensasi pada motor atau kotak transmisi.
- c). Unit-unit kipas yang terletak dekat dasar menara memudahkan pengontrolan dan pemeliharaan.
- d). Kipas yang mengalirkan udara ambien membutuhkan daya lebih kecil dari aliran induksi tetapi (lihat butir 6.3.4.1 (b)).
- e). Lihat butir 6.3.1.

#### 5.3.3.2. Kerugian-Kerugian.

- a). Menara aliran udara paksa mungkin lebih mudah menimbulkan sirkulasi ulang daripada menara aliran induksi untuk tugas yang sama;
- b). Es dapat terbentuk pada saluran masuk kipas selama pengoperasian pada tempat bermusim dingin. Hal ini dapat diperkecil dengan mengatur lorong-lorong kipas sedikit miring untuk mengalirkan air kembali kedalam wadah penyimpanan.
- c). Lihat butir 6.3.2.

#### 5.3.4. Menara aliran induksi (Gambar 7(b) dan (d) dan Gambar 1).

Menara aliran induksi adalah menara aliran mekanis yang mempunyai satu atau lebih kipas pada sisi keluar udaranya.





#### 5.3.4.1. Keuntungan-Keuntungan.

- a). Menara aliran induksi mempunyai kemampuan untuk melayai laju aliran air yang besar (tetapi lihat 6.2.2.).
- b). Lebih cocok untuk ukuran sel yang besar dan ukuran kipas yang besar dibanding dengan aliran udara tekan.  
Ukuran kipas yang besar dapat menghasilkan efisiensi yang lebih besar dengan konsekwensi daya dan tingkat kebisingan yang rendah.
- c). Memerlukan luas dasar lebih ringkas dari pada menara aliran udara tekan dengan kapasitas yang sama, disebabkan tidak adanya kipas salah satu sisi.
- d). Peralatan kipas pada sisi udara keluar yang hangat mengurangi pembentukan es pada pengoperasian didaerah bermusim dingin.
- e). Lihat butir 6.3.1.

#### 5.3.4.2. Kerugian.

- a). Peralatan mekanisnya memerlukan perlindungan untuk mencegah korosi dan kondensasi didalamnya;
- b). Pengawasan dan perawatan peralatan mekanis, relatif sulit dilaksanakan karena kipas terletak 5 - 20 m diatas dasar menara;
- c). Lihat butir 6.3.2.

#### 5.3.5. Menara Aliran Udara Berlawanan (Gambar 7(c) dan Gambar 1).

Menara aliran udara yang berlawanan adalah menara aliran udara mekanis dalam mana udara dan





air mengalir dalam arah berlawanan, umumnya dalam arah vertikal.

#### 5.3.5.1. Keuntungan.

- a). Biasanya menara aliran yang berlawanan adalah pilihan yang ekonomis untuk tugas yang sulit (kombinasi rentang pendinginan yang besar dengan pendekatan suhu kecil.
- b). Kecendrungan pembentukan es kurang dibanding aliran udara silang (lihat 10.5.1)
- c). Lihat 6.3.1.

#### 5.3.5.2. Kerugian.

- a). Dengan aliran induksi, sistem pendistribusian air (biasanya pipa atau saluran dengan nosel pemancar) tidak mudah diawasi dan dibersihkan, kecuali menara dihentikan.
- b). Lihat 6.3.2.

#### 5.3.6. Menara aliran udara silang (Gambar 7 (b) dan Gambar 1).

Menara aliran udara silang adalah menara aliran udara mekanis yang mana aliran udara biasanya horisontal, dan bersentuhan dengan air yang jatuh.

Biasanya digabungkan dengan aliran induksi.

#### 5.3.6.1. Keuntungan.

- a). Bisa merupakan pilihan yang ekonomis untuk aliran air yang besar.





- b). Luas dasar wadah dan daya total kipas dan pompa dapat lebih kecil dari pada menara aliran mekanis lainnya.
- c). Sistem pendistribusian air jenis saluran terbuka mudah untuk dibersihkan tanpa mematikan menara.
- d). Dapat dirancang agar mempunyai ketinggian yang rendah untuk tugas yang kecil.
- e). Lihat butir 6.3.1.

#### 5.3.6.2. Kekurangan-Kekurangan.

- a). Pencegahan terhadap pembentukan es selama cuaca dingin perlu perhatian lebih dari operator.
- b). Terbukanya wadah distribusi air terhadap matahari merangsang pertumbuhan ganggang (lihat 10.4.8 dan 10.4.9).
- c). Lihat 6.3.2.

### 6. PENEMPATAN, PENGATUR JARAK DAN PERTIMBANGAN LINGKUNGAN.

Penempatan dan pengaturan jarak menara pendingin harus mempertimbangkan dari aspek - aspek ekonomis, termal dan lingkungannya.

#### 6.1. Penempatan

##### 6.1.1. Elevasi menara

Menara pendingin dapat diletakkan pada tempatnya yang sesuai, dibawah atau diatas sumber panas, tetapi harus diperhatikan kemungkinan timbulnya arus balik dari sistem yang mengakibatkan kehilangan dan luapan air.





#### 6.1.2. Pembatasan Udara.

Pada instalasi menara industri skala kecil, karena alasan estetika atau pengurangan kebisingan suara, kadang-kadang dipasang dinding atau pagar untuk melindungi menara.

Dinding atau pagar harus dirancang agar mencapai hambatan aliran yang minimum dan membentuk daerah pemeliharaan yang maksimum .

#### 6.1.3. Sirkulasi Ulang.

Pada menara industri ukuran besar dengan aliran udara mekanis, masalah utama yang sering ditemui adalah sirkulasi ulang dan pengaruh luar yang akan berpengaruh pada suhu bola basah udara masuk.

Sirkulasi ulang adalah terbawanya sebagian udara keluar kembali masuk ke menara. Pada menara besar dengan aliran udara alamiah, hal ini umumnya tidak terjadi karena ukuran menara cukup tinggi.

Pengaruh-pengaruh luar lainnya yang dapat mengubah kondisi udara masuk antara lain karena gangguan dari menara yang berdekatan atau sumber kolor lainnya.

Tingkat aliran ulang (balik) terutama tergantung pada arah angin dan kecepatannya, panjang menara dan kondisi atmosfer. Keadaan lain yang mungkin memberi pengaruh adalah jarak antar, topografi atau situasi geografis yang berhubungan dengan isapan ke bawah, kecepatan udara keluar, tinggi menara dan perbedaan kepadatan antara udara keluar dan suhu sekeliling.

#### 6.1.4. Arah letak menara pendingin.

a). Menara dengan udara masuk pada satu sisi harus diarahkan sedemikian sehingga sisi udara masuk menghadap kearah angin normal/biasa.

b). Menara dengan udara masuk pada kedua sisi





yang berlawanan harus dihadapkan sedemikian sehingga sisi udara masuk pada arah  $90^\circ$  terhadap arah angin normal.

- c). Menara aliran udara mekanis ukuran besar sebaiknya harus dibagi menjadi beberapa baris, masing-masing dengan perbandingan panjang dan lebar 5 : 1.

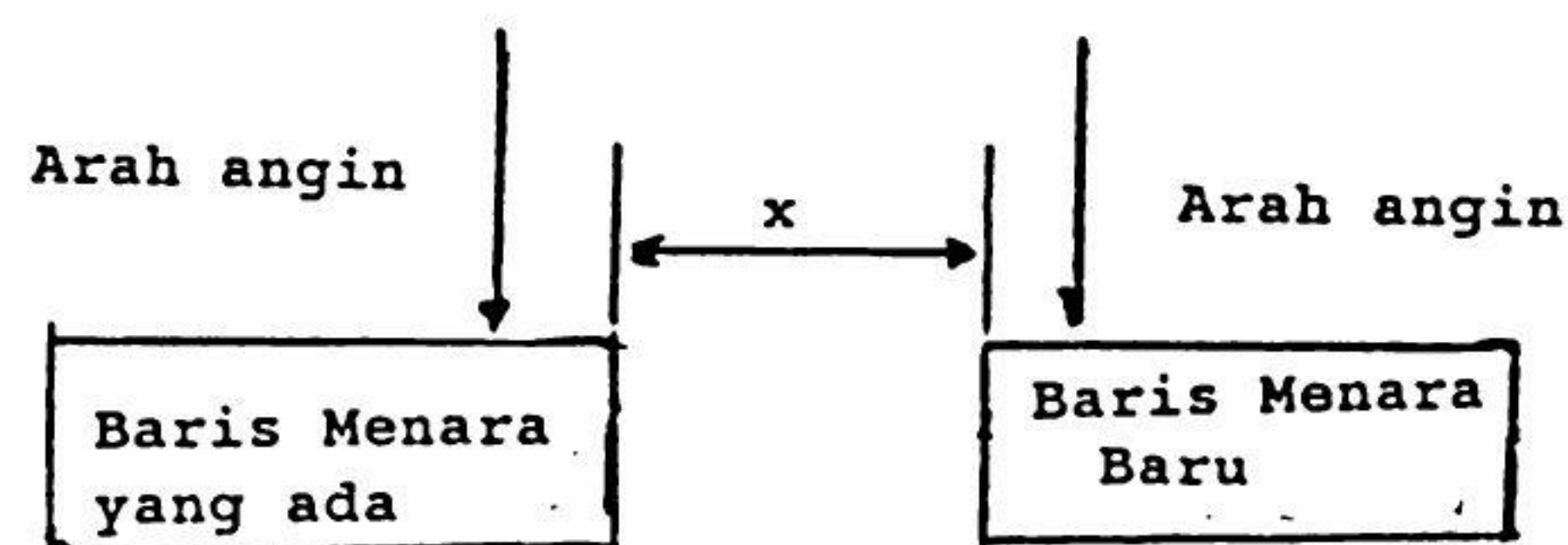
Catatan:

Arah angin normal ditentukan oleh topografi lokal, harus diambil sebagaimana terukur selama periode kerja maksimum.

## 6.2. Pengaturan Jarak

Jarak menara pendingin atau deretan sisi menara harus berdasarkan pada rekomendasi sesuai butir 7.2.1. sampai 7.2.4.

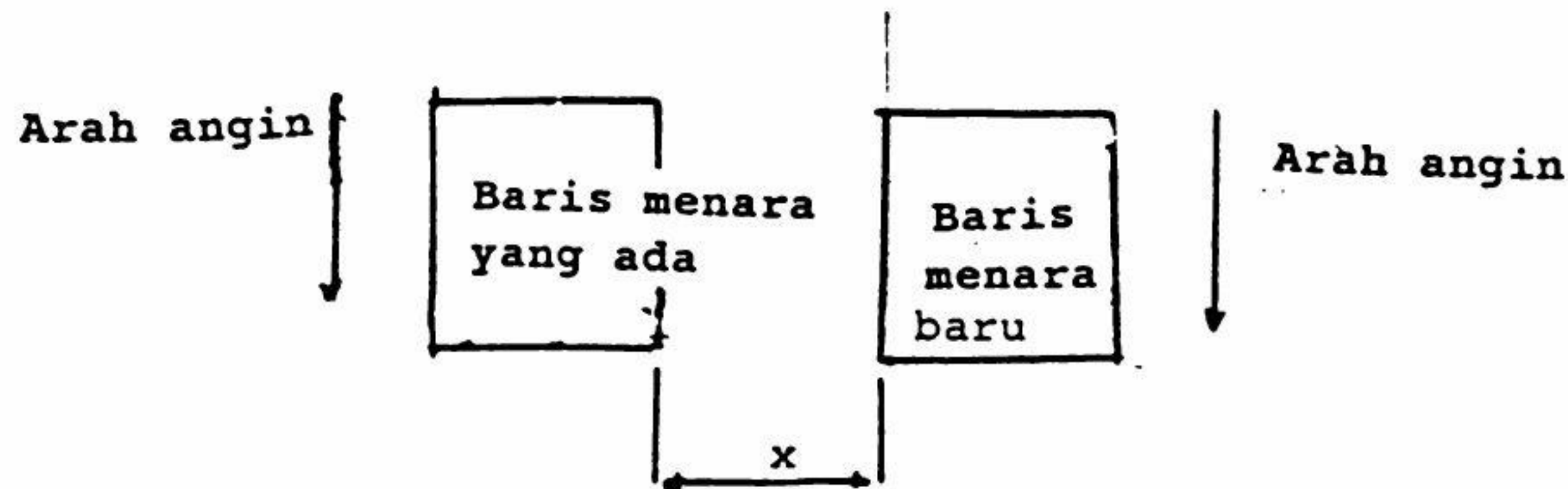
- 6.2.1. Apabila sumbu panjang dari satu baris tegak lurus arah angin, pengaruh dari baris lain dapat diperkecil apabila jarak  $x$  antara barisan lebih besar dari panjang rata-ratanya. Sumbu panjang dari sisi menara harus segaris.



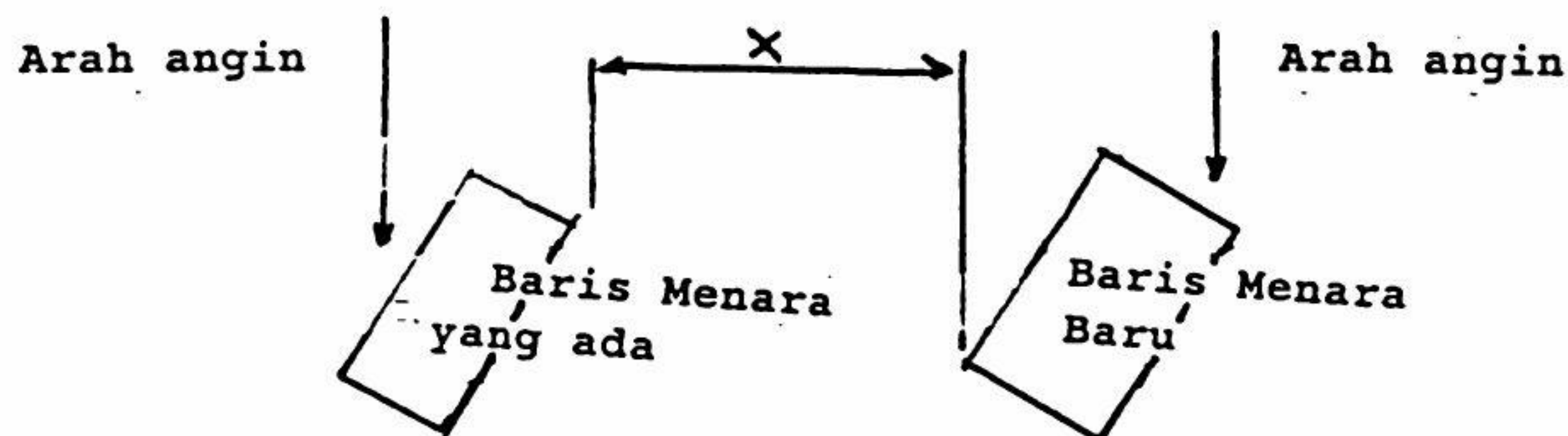
- 6.2.2. Apabila sumbu panjang dari menara yang ada sejajar dengan arah angin, pengaruh dari menara yang ada pada menara baru akan diperkecil jika jarak kali lebih besar dari panjang rata-ratanya.



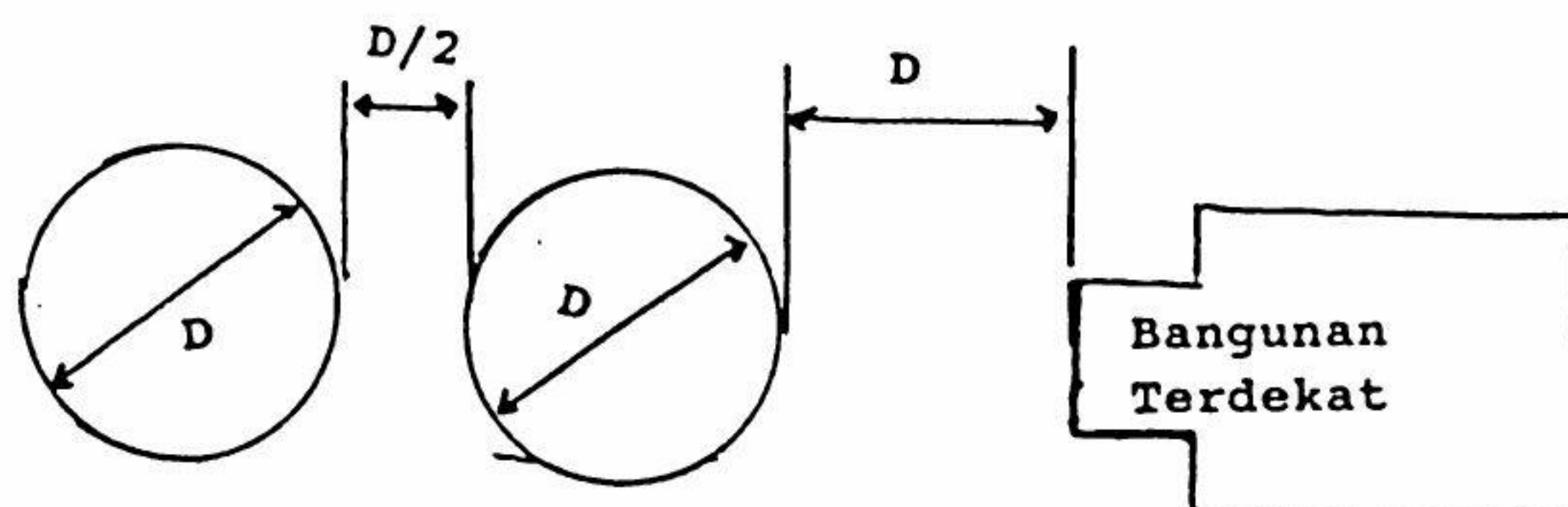




6.2.3. Bila sumbu panjang dari menara yang ada membentuk sudut 45 derajat dengan arah angin, pengaruh dari menara yang ada terhadap menara yang baru akan diperkecil bila jarak  $x$  lebih besar dari rata-rata panjang.



6.2.4. Pemberian jarak dari menara pendingin aliran udara alamiah dianggap memadai jika menara pendingin terdekat diregangkan sehingga jarak antara menara sama atau lebih besar dari setengah diameter menara terbesar. Kalau menara ditempatkan mendekati bangunan yang besar seperti bangunan turbin dan ketel, disarankan agar titik terdekat dari menara relatif terhadap bangunan harus berjarak paling sedikit sama dengan diameter menara.







### 6.3. Pertimbangan Lingkungan.

Akibat dari percikan, peniupan kabut kebisingan adalah faktor-faktor selanjutnya yang memerlukan pertimbangan dalam menempatkan menara.

#### 6.3.1. Percikan didefinisikan sebagai air yang terbawa dalam aliran udara keluar.

Apabila menara ditempatkan dekat peralatan listrik tegangan tinggi, percikan dapat menyebabkan loncatan api listrik dan masalah pembentukan es.

Percikan dapat juga menimbulkan bahaya, terutama dalam cuaca sangat dingin pada jalan umum dan juga mungkin menimbulkan gangguan pada pemukiman disekitarnya.

Eliminator yang efektif pada saluran keluar menaraseharusnya mampu mengurangi percikan sampai tingkat yang dapat diterima.

#### 6.3.2. Peniupan (*Blow out*).

Peniupan adalah penghembusan keluar air dari saluran masuk udara dan terjadi sebagian besar pada menara aliran alamiah dari rancangan aliran berlawanan dibandingkan dengan menara aliran mekanis. Hal tersebut dapat menghasilkan faktor gangguan dengan kerugian seperti percikan, walaupun daerah yang terganggu lebih kecil .

#### 6.3.3. Pengkabutan.

Pengkabutan berasal dari pencampuran antara udara lembab dari menara dengan udara dingin. Campuran ini menghasilkan kabut dari kelembaban yang berkondensasi dimana terdapat pengkabutan, faktor bunyi dapat menimbulkan "visibility dan Icing hazard" (bahaya pembekuan).

Hal tersebut merupakan hakekat dari menara pendingin dan periode yang buruk bagi temperatur rendah dan kelembaban yang tinggi.

Pengukuran-pengukuran dapat dilakukan untuk menurunkan pengkabutan, tetapi ini menambah





biaya tambahan untuk modal dan biaya operasi. Sebagai contoh, pemanasan udara lebab menurunkan (mengurangi) kabut sambil meningkatkan volume udara yang lewat menara.

Pemisahan kipas stock yang mengeluarkan uap panas pada suatu ketinggian dapat merupakan bahagian solusi. Walaupun hal ini juga maka test pada diameter stock dan ketinggian untuk memperoleh keuntungan.

Masalah ini lebih mudah dipecahkan apabila pemasangan menara dilakukan pada lokasi yang menimbulkan keluhan paling sedikit pembuangan udara dan uap pada elevasi tinggi pada menara aliran alami biasanya mencegah timbulnya gangguan akibat pengkabutan.

#### 6.3.4. Abstraksi dari dan kedalam sungai.

Konsentrasi ketidak murnian didalam sistem persirkulasian air yang menggunakan pendinginan evaporasi dipertahankan pada tingkat yang diinginkan dengan pemisahan air evaporasi dari sumbernya dan memperlakukan kelebihan air tersebut sebagai pembersih ke sumber atau sumber lain. Air yang digunakan dengan cara ini dapat dikelola oleh lembaga air. Kebanyakan lembaga air menetapkan kondisi yang diijinkan untuk penggunaan industri yang tergantung terutama pada temperatur, volume dan kompensasi buangan dan sampai sejauh mana buangan tersebut dapat diserap oleh air.

Kondisi yang diijinkan itu meliputi kenaikan temperatur air yang diijinkan, pencemaran, kebutuhan oksigen dari air yang digunakan dan untuk navigasi yang diperbolehkan. Air pembersih perlu didinginkan lebih lanjut dengan pendinginan tambahan atau dengan pencampuran yang baru sebelum dibuang kesungai. Apabila saluran air masuk sirkulasi untuk air tambahan pada jalurnya, diperlukan pencegah agar ikan tidak masuk kesaluran masuk.





Apabila saluran masuk air sirkulasi untuk air tambahan (karena aliran air yang rendah, endapan-endapan lumpur) sehingga harus dibuat aturan penyimpanan.

#### 6.3.5. Kebisingan.

Tingkat kebisingan yang dapat datang dari kipas dan air jatuh pada instalasi menara pendingin harus dipertimbangkan dengan tingkat kebisingan yang ada pada daerah dimana akan dipasang menara tersebut.

Perlu masukan aspek kebisingan dari awal karena untuk mengurangi tingkat kebisingannya mungkin diperlukan perancangan menara, yang kurang ekonomis dibandingkan untuk daerah tanpa pembatas kebisingan.

Berbagai tindakan koreksi bahas dalam butir 7.3.8. dan 7.3.11.

#### 6.3.6. Tingkat kebisingan.

Tingkat kebisingan dapat bervariasi bergantung pada pemakaian dan jenis menara yang digunakan. Kebutuhan untuk membatasi kebisingan dapat menjadi faktor utama dalam memilih pemakaian dan jenis menara. Dalam kondisi tertentu, karena pembatasan ukuran dan sebagainya tidak selalu memungkinkan untuk merancang suatu menara dengan tingkat kebisingan yang rendah. Dalam hal ini menara harus dipasang sejauh mungkin dari daerah yang peka terhadap kebisingan atau dipasang peredam suara menara dengan harga awal dan biaya operasi yang lebih tinggi.

Kebisingan dari kipas berkaitan dengan daya dari kipas, tekanan statik dan kecepatan ujung bilah. Tekanan statik kipas sama dengan penurunan tekanan pada menara, daya kipas sebanding dengan laju aliran udara. Dengan demikian kenaikan laju aliran udara akan menaikkan daya tekanan statiknya, sehingga tingkat kebisingan menjadi bertambah.





Kebisingan air terjadi karena benturan dari butir-butir air pada permukaan pengisi dan permukaan air dalam wadah. Dalam beberapa hal kebisingan air akan lebih dominan tetapi tidak akan lebih mengganggu daripada kebisingan dari kipas karena struktur suaranya.

Kegagalan memperoleh informasi mengenai tingkat kebisingan suatu menara pendingin yang diusulkan atau kegagalan menyadari pentingnya data tentang kebisingan yang diberikan oleh pembuat, kadang-kadang menyebabkan menara pendingin menimbulkan gangguan yang berarti.

#### 6.3.7. Menara Pendingin dengan tingkat kebisingan yang rendah.

Kadang-kadang tempat pemasangan peralatan-peralatan membutuhkan tingkat kebisingan yang lebih rendah dari tingkat kebisingan menara pendingin yang tersedia. Dalam hal ini pembuat, jika mungkin akan menawarkan menara dengan tingkat kebisingan yang rendah. Menara-menara ini mungkin akan menggunakan kipas sentrifugal atau alat peredam akustik. Kecepatan udara melalui pengisi dapat dikurangi atau pengaturan kembali pengisi menara untuk mengurangi penurunan tekanan udara. Semua ini akan meningkatkan biaya tambahan, tetapi apabila diperlukan menara dengan tingkat kebisingan yang rendah tidaklah baik secara ekonomi untuk memasang menara yang lebih murah tetapi lebih bising.

#### 6.3.8. Mengurangi tingkat kebisingan setelah pemasangan.

Apabila setelah menara terpasang dibutuhkan pengurangan tingkat kebisingan, hal ini dapat dicapai dengan banyak tambahan biaya. Jika terdapat kelebihan kapasitas pendinginan, pengurangan kebisingan dapat dilakukan dengan menurunkan kecepatan kipas. Jika tidak terdapat kelebihan kapasitas pengurangan kebisingan dapat dilakukan dengan mengganti kipas aksial dengan





kipas sentrifugal. Cara terakhir yang dilakukan dengan memasang dinding peredam akustik disekitar menara atau pemasangan peredam pada saluran masuk udara dan atau pada saluran keluarnya. Dalam hal ini harus diperhatikan agar aliran udara masuk kedalam menara tetap mencukupi, baik dalam jumlah maupun pada alirannya; mungkin diperlukan kipas yang baru untuk mengatasi tambahan tahanan akibat pemasangan ini. Derajat tingkat kebisingan dasar mungkin menjadi sedemikian rupa sehingga:

- a. Kebisingan dari menara pendingin dapat menyebabkan gangguan pada bangunan disebelahnya yang masih dalam daerah sipemilik.
- b. Dapat menaikkan tingkat kebisingan diluar daerah sipemilik sedemikian rupa sehingga dapat menimbulkan gangguan pada tetangga disekitarnya sehingga menyebabkan tuntutan hukum.

Lampiran: B merinci suatu cara untuk menghitung perkiraan tingkat kebisingan sebuah menara pendingin pada suatu jarak tertentu.

#### 6.3.9. Tingkat Kebisingan Perlengkapan Kipas.

Data dalam spektrum kebisingan dan tingkat kekuatan suara  $L_w$  dari sebuah kipas biasanya dapat diperoleh dengan cara yang disebutkan BS.848. dari pembuat kipas. Ada bukti yang menunjukkan bahwa, kebisingan kipas dari menara pendingin adalah :

$$L_w = 96,25 + 10 \log 10 \text{ (penggerak kW) didasarkan pada } 10^{-12} \text{ W.}$$

Harus diperhatikan bahwa kondisi pemasangan kipas, seperti jenis penyangga, tidak menimbulkan suara tumbukan yang dapat mengganggu. Tingkat kebisingan listrik mungkin timbul





sewaktu menyalakan kipas ataupun sewaktu mengganti kecepatan kipas Kebisingan demikian juga dapat mengganggu, terutama dimalam hari, karena kebisingan tersebut cenderung terputus-putus dan pada frekuensi tersendiri.

#### 6.3.10. Kebisingan Air.

Kebisingan air dari sebuah menara yang besar dengan pengisi tebar atau pengisi lapisan dengan tinggi jatuh yang besar dibawah selubung (pengumpul), mungkin sama atau lebih keras dari kebisingan yang ditimbulkan oleh kipas. Tetapi kebisingan itu mungkin tidak begitu mengganggu sifatnya karena jenis kebisingan spektrum lebar tanpa frekuensi khas/tersendiri bangunan. Menara-menara kecil diatas bangunan dapat meneruskan kebisingan melalui wadah air ke kerangka.

#### 6.3.11. Ringkasan Penurunan Kebisingan.

Apabila kebisingan harus minimum pada setiap titik kepekaan, maka disarankan sebagai berikut:

- a. Tingkat kebisingan dasar harus serendah mungkin. Daya kipas harus rendah dan suara air dikurangi sampai tingkatan minimum.
- b. Menara-menara harus ditempat pada sejauh mungkin dari titik peka.
- c. Jika sebuah unit aliran mekanis berjamak harus dipasang, maka kipas-kipas harus searah/segaris dengan titik-peka dan saluran udara masuk berada disisi yang lebar.
- d. Motor-motor harus ditempatkan dibelakang arah tiupan kipas jika dilihat dari titik peka.
- e. Pada menara aliran-paksa maka sumbu kipas harus menjauhi titik peka.





- f. Bila kemungkinan menganalisa spektrum bunyi, temukan dan kurangi frekwensi-frekwensi yang khas dan menurunkan tingkat kebisingan umumnya.
- g. Demikian pula, dilengkapi dengan dudukan anti-getaran untuk mengurangi kebisingan dan penerusan getaran dari kerangka menara ke bangunan/gedung.
- h. Peredam suara pada sisi masuk atau sisi keluar dari kipas mungkin dapat menolong untuk mengurangi kebisingan, tetapi dapat menambah tahanan udara yang tidak dikehendaki.
- i. Penggunaan penggerak kipas berkecepatan jamak akan menimbulkan pengurangan tingkat kebisingan suara apabila bekerja dengan kecepatan yang dikurangi.
- j. Pemakaian kipas sentrifugal pada menara pendingin aliran paksa mengurang tingkat kebisingan.
- k. Oleh karena tingkat kebisingan secara kasar sebanding dengan tenaga penggerak kipas, maka aliran udara secara langsung mempengaruhi tingkat kebisingan. Menara-menara yang bekerja/beroperasi dengan perbandingan L/G yang tinggi akan kurang bising dibandingkan dengan menara lainnya yang mempunyai, masalah kebisingan .
- l. Jika kebisingan kipas harus dikurangi pada sebuah menara yang sudah ada, maka mungkin dapat dicapai dengan mengurangi kapasitas kipas dan daya kipas dan dengan demikian aliran air harus dipertinggi dengan keseimbangan panas yang berbeda. Jika menaranya kecil dan dari jenis udara-paksa, maka perubahan dari kipas aksial kekipas sentrifugal akan berhasil.





## **7. PERSYARATAN OPERASI YANG DITENTUKAN.**

### **7.1. Pemilihan Kondisi Rancangan (termasuk kurva probabilitas)**

#### **7.1.1. U m u m.**

Parameter-parameter rancangan sebuah menara pendingin adalah:

- Temperatur suhu bola basah sekeliling
- Pendekatan
- Selang pendinginan
- Sirkulasi aliran air
- Letak ketinggian (diperhitungkan apabila lebih dari 300 m menara aliran udara paksa di atas laut). Parameter tambahan untuk menara aliran udara alamiah adalah suhu bola kering sekeliling atau sebagai alternatif kelembaban relatif sekeliling.

#### **7.1.2. Suhu Udara Sekeliling**

Perancangan yang baik dari sebuah menara air pendingin tergantung pada cukupnya pengetahuan yang cukup dari kondisi atmosfer yang lazim terdapat di daerah tertentu, hal ini agar mendapatkan prakira realistis dari kondisi yang mungkin akan terjadi selama beroperasinya menara air pendingin.

Adalah penting bahwa rencana yang sesuai dengan kondisi sekitar yang dipilih dengan tepat, karena untuk merencanakan peralatan pendingin yang tahan terhadap suhu yang berkondisi ekstrim mencakup terhindarnya biaya apabila menara beroperasi dalam jangka waktu yang lebih lama dengan kondisi sekeliling yang kurang ekstrim. Kebalikannya, yaitu yang dipilih rancangan kondisi yang dipilih terlalu rendah, maka menara akan terlalu kecil untuk jangka waktu yang panjang dari masa hidupnya dengan efek-efek berlawanan atas komponen-komponen yang tergabung dari sistem.





Maka pada umumnya si perancang harus menyediakan menara dengan hasil yang diminta selama suatu persentasi tertentu dari masa operasinya. Dalam beberapa industri penghasil persentasi ini mungkin tinggi sekali, maka suhu air dingin harus dipertahankan pada suatu tingkat tertentu untuk masa yang lebih lama dari suatu operasi. Dalam hal demikian maka pendekatan suhu air dingin lebih harus dekat sekali kepada suhu sekeliling bola basah, mengharuskan suatu instansi yang lebih besar daripada apabila nilai-pendekatan menjadi lemah/berkurang untuk memungkinkan temperatur air dingin melampaui persentasi waktu yang lebih besar. Dalam hal ini misalnya, maka cara penyajian informasi atas kondisi cuaca adalah penting, karena memungkinkan perencana menara pendingin untuk memilih nilai-nilai rencana yang optimum.

#### 7.1.3. Pendekatan.

Pendekatan adalah satu parameter dari rencana yang sangat peka. Pendekatan yang baik adalah terbatas pada kesukaran-kesukaran praktis seperti pembebanan maksimum dari air pada selubung.

Diharuskan berkonsultasi terlebih dahulu dengan pabrik sebelum mempertimbangkan angka pendekatan sekitar  $3^{\circ}\text{C}$  untuk menara aliran udara paksa atau  $7^{\circ}\text{C}$  untuk aliran udara alamiah. Pada tingkat-tingkat ini suatu kenaikan  $1^{\circ}\text{C}$  dari pendekatan akan berakibat penurunan 20 % dari besarnya menara sehingga amat berarti dalam pembiayaan.

#### 7.1.4. Selang Pendinginan dan Jumlah Air.

Variasi-variasi dari lingkup pendinginan dan jumlah air biasanya dipertimbangkan dalam hubungan dengan suatu beban-panas tertentu dan dipilih sebagai kesatuan kondisi-kondisi peralatan lain dari pabrik.

#### 7.2. Petunjuk atas akibat-akibat dari variasi parameter.





#### 7.2.1. Umum.

Agar dapat mencapai pilihan yang tepat dari rencana parameter, maka ada gunanya untuk melakukan suatu penilaian tinggi akan akibat dari besarnya menara dan biaya dalam variasi-variasi dari parameter sehubungan dengan besarnya selang pendekatan dan suhu bola basah.

#### 7.2.2. Menara pendingin aliran udara mekanis.

Menara pendingin aliran udara mekanis biasa direncana untuk suatu tingkat udara yang ekonomis dan yang berbeda bisa dihasilkan dengan meng "variasi" beban air, suhu selubung dan jenis pembungkus dan juga dengan meng "variasi" aturan/susunan aliran dari arus-balik ke arus silang.

Gambar 8 melukiskan suatu perkiraan akibat yang utama dalam variasi-variasi suhu bola basah, selang pendininan dan pendekatan atas daerah rencana bersangkutan dari sebuah menara pendingin aliran mekanis berarus balik.

Setiap perubahan dari kondisi-kondisi temperatur ini dapat ini dapat dibaca dalam gambar 8 sebagai rencana lapangan bersangkutan yang langsung bersangkutan dengan perubahan biaya. Sebuah rencana lapangan menyeluruh didapat dari hasil kali faktor-faktor individu. Contoh berikut melukiskan/menggambarkan cara tersebut.

Contoh:

-----

Sebuah menara air pendingin harus dapat mendinginkan aliran air 0,625 m<sup>3</sup>/dtk dari 33°C menjadi 23°C dengan 16,5°C suhu bola basah. Faktor rencana lapangan bersangkutan untuk

lingkungan pendinginan, pendekatan dan suhu bola basah didapat dari gambar 8 berasal dari.





Kondisi	Faktor rencana lapangan yang bersangkutan.	
- Lingkup pendingin = 10 °C		0,90
- Pendekatan = 6,5 °C		0,79
- Suhu bola basah = 16,5 °C		1,03

Faktor rencana lapangan menyeluruh =  $0,90 \times 0,79 \times 1,03 = 0,7323$   
 Untuk kondisi lingkup dingin 12°C, pendekatan 5°C dan basah 17°C, faktor rencana lapangan bersangkutan adalah persatuannya dan pembebanan air adalah khusus 2,3 kg (m<sup>2</sup>.dtk). Kemudian untuk kondisi-kondisi yang khas diharapkan agar rencana lapangan untuk menara arus bolak balik harus  $(0,625 \times 1000) / 2,3 \times 0,732 = 199 \text{ m}^2$ .

#### 7.2.3. Menara pendingin aliran udara alamiah.

Dalam hal menara air pendingin aliran udara alamiah, dapat dibuktikan bahwa untuk suatu kondisi pamas ada hubungan yang tetap (konstan) antara rencana lapangan fillar dan akar pangkat dua dari tinggi cerobong; ini dapat menjurus kepada kombinasi-kombinasi tinggi dan diameter yang yang tak terhingga untuk persoalan pendinginan. Pada umumnya, sekarang menara dirancang dengan perbandingan tinggi dan diameter alas sebagai 1,25 dan Gambar 9 dan 19 didapat dengan menggunakan hubungan ini dicampur dengan tipe/model arus percik.

Langkah-langkah untuk menentukan variasi besar dan biaya dari menara pendingin udara alamiah adalah sama dengan yang dipakai untuk model udara mekanis. Gambar 9 menunjukkan variasi faktor kerja dengan suhu bola basah, selang pendinginan dan pendekatan, kondisi-kondisi yang dipilih untuk suatu faktor kerja dengan yang sama dengan satu adalah 10°C temperatur bola basah, 12°C lingkup pendinginan dan 10°C pendekatan. Sehingga suatu faktor kerja menyeluruh bisa dihasilkan dari faktor-faktor





individu untuk merubah rencana-rencana kondisi. Dari gambar 10 diameter alas dapat ditetapkan dari faktor kerja dan arus air yang melalui menara. Ini kemudian dapat diperbandingkan dengan diameter alas dari menara air pendingin alamiah bekerja sebagai kesatuan dengan faktor kerja. Ini cukup teliti untuk variasi-variasi kecil dalam temperatur-temperatur kerja untuk menyerap variasi dari diameter menara.

Contoh berikut memberi suatu gambaran dari cara/metode ini

Contoh:

-----

Sebuah menara pendingin harus dapat mendinginkan air 3,75 m<sup>3</sup>/detik dari 33°C menjadi 20°C dengan 11°C suhu bola basah.

Kondisi		Faktor rencana lapangan yang bersangkutan.
-----		-----
- Lingkup pendingin =	13 °C	1.05
- Pendekatan =	9 °C	1.20
- Suhu bola basah =	11 °C	0,945
-----		-----

Faktor rencana lapangan menyeluruh = 1,05x1,2x0,945=1,19.

Beredarnya arus air dikalikan dengan faktor kerja = 3,75 x 1,19 = 4,46, maka dari Gambar 10 diameter alas adalah 80,5 menara air pendingin .

Jika 1 sebagai praktek kerja, dan edaran arus air 3,75 m<sup>3</sup>/dtk, diameter alas yang didapat dari Gambar 10 adalah 75 menara air pendingin . Maka urutan kenaikan biaya diwakili oleh pecahan :

$$\frac{(80,5)^2}{(75)^2} = 1,15$$





## 8. PERSYARATAN RANCANGAN TERMAL

### 8.1. Filler (Pengisi)

#### 8.1.1. Fungsi:

Seperti yang telah disebutkan sebelumnya pada butir 5.1. kegunaan dari filler dimenara pendingin adalah:

- a). Menambah lamanya hubungan antara udara dan air.
- b). Untuk membentuk permukaan air yang segar, hingga menambah kecepatan pengalihan panas persatuan isi.

#### 8.1.2. Jenis.

Filler dibagi menjadi 2 jenis sebagai berikut:

##### 8.1.2.1. Filler/Pengisi Jenis Aliran Percik.

Filler/pengisi jenis aliran percik adalah di mana panas dari filler tergantung dari pada pengalihan panas dari permukaan titik air didalam daerah pembungkus ditambah pengalihan panas dari permukaan bilah yang basah. Pada umumnya bahan yang paling biasa dipakai adalah kayu dalam bentuk bilah-bilah berpotongan kecil yang telah diobati untuk menolak lapuk dan infeksi jamur *BS 4485 Part 4 Structural Design of Cooling Towers Water Cooling Towers*. Bilah-bilah dapat dipasang pada menara secara tersendiri atau dalam bentuk kesatuan rakitan pabrik.

Bahan-bahan lain yang dipakai dalam filler percik adalah beton, asbestos atau plastik.

##### 8.1.2.2. Filler film.

Ini berbeda dari pembungkus percik dalam keutamaan rencana untuk menghasilkan sebuah





daerah permukaan yang lebar dari bahan didalam daerah filler melalui daerah permukaan yang lebar dari bahan didalam daerah filler melalui mana air akan berbentuk sebuah film dan dengan demikian menghadapkan sebuah permukaan yang besar kepada aliran udara mereka termasuk yang biasanya disebut filler permukaan yang diperpanjang atau filler lembaran.

#### 8.1.3. Pembebanan Air.

Pembebanan air yang minimum berubah untuk bentuk dan jenis filler yang berlainan. Ini diharuskan/ dianjurkan, teristimewa untuk pembungkus film dan pembungkus permukaan yang diperpanjang, karena kemungkinan akan timbulnya alur-alur terusan pada pembebanan yang kurang/rendah.

Pembebanan air yang agak tinggi, pada umumnya dapat digunakan dimenara pendingin beraliran silang tidak tergantung pada jenis dari filler.

Pembebanan air pada menara pendingin tidak boleh mendekati tingkatan akan banjir. Satu-satunya kesukaran dari beban air yang tinggi adalah mendapatkan arus udara yang cukup dan menara berarus silang akan menguntungkan.

#### 8.1.4. Tinggi Filler.

Tingginya filler dari menara pendingin akan sangat berubah-ubah biarpun termasuk dalam jenis filler yang berbeda sesuai dengan rencana ekonomis sehubungan dengan setiap keperluan khas.

Tetapi pada umumnya dapat diterangkan bahwa untuk tugas yang sama dan tenaga kipas yang diperlukan, maka film atau filler dengan permukaan yang diperpanjang lebih rendah dari jenis filler percik yang berkisi-kisi.





## 8.2. Pencegah Kerugian Aliran (*Drift*).

Sistem distribusi secara semburan dan filler percik menghasilkan suatu spektrum sebesar titik-titik air dan yang lebih ringan akan hanyut terbawa kebawah bersamaan dengan pembuangan udara. Keadaan ini tidak akan muncul dalam sistem ini dimana suatu susunan dari palung-palung dan selokan selokan mungkin air untuk menetes membentuk suatu filler-film, biarpun tidak bekerjanya sistem seperti ini adalah karena pencemaran atau kerusakan lain mengakibatkan percikan dan berkurangnya aliran.

Oleh karena itu biasanya dipasang sebuah alat pencegah aliran dialiran udara arah kebawah dari filler serta sistem distribusi untuk mengurangi jumlah kerugian aliran sehingga tercapai jumlah tertentu yang dapat diterima oleh keadaan sekeliling yang spesifik (lihat *addendum appendiks D dari BS 4485, part 1 :1969*).

Fungsi dari alat pencegah aliran adalah untuk membentuk permukaan-permukaan dimana tetesan-tetesan air akan melanggarnya. Dalam hal alat pencegah horisontal mereka bersatu sehingga menjadi cukup besar untuk jatuh kembali ke filler, dan dalam hal ini alat pencegah vertikal ataupun mendekati vertikal mereka membentuk sebuah film air yang tipis kesuatu titik pengumpul yang tersedia sehingga dapat dipindahkan/disalurkan tanpa menimbulkan aliran lagi.

Penyusun alat pencegah pada umumnya terdiri dari kisi-kisi dari elemen-elemen yang sejajar terletak dalam satu atau beberapa lapisan dengan permukaan-permukaan terletak miring dengan arah aliran udara yang normal. Oleh karena udara berputar diantara elemen-elemen ini, maka inersia dari titik-titik air akan membuatnya menubruk permukaan-permukaan. Sukses dari sistem seperti ini tergantung dari pembatasan kecepatan udara kesatu tingkat dimana titik-titik air tetap dapat bertahan dan bersatu tanpa merusak pinggiran elemen-elemen yang berarah kebawah.





Untuk suatu spektrum besar titik air tertentu, yang dilakukan oleh bagan distribusi dan sistem filler, jumlah aliran lebih banyak tergantung kepada kecepatan air. Tetapi sebuah faktor kompensasi adalah bertambah efektifnya dari alat pencegah dengan kecepatan asalkan jangan mencapai limit dimana pencelupan (dari elemen-elemen) terjadi.

Bagan sebuah alat pencegah adalah sebuah jalur-tengah/kompromi dari efektif/kemampuan dan hambatan dari aliran udara. Penempatan dari elemen-elemen dan kemiringan terhadap arah manual dari aliran udara adalah penting, begitu juga posisi dan sudut dari masing-masing urutan lapisan elemen. Alat pencegah yang banyak digunakan adalah dalam gambar 11. Gambar 11 (a) adalah gambaran dari sebuah alat pencegah yang terdiri dari dua lapisan kisi-kisi kayu dan gambar 11 (b) adalah terdiri dari satu apisan yang dipotong dan bentuk standar sebuah lembaran semen asbestos.

Setiap susunan ini harus mampu memenuhi tuntutan-tuntutan normal yang telah disetujui atas tingkat kecepatan jatuh tidak melebihi 0,025 mm/jam seperti ditetapkan dalam BS.4485 Part 2: *Structural Design of Cooling Towers Water Cooling Towers*. 1969), asalkan mereka dipasang secara berurutan dengan cukup cepat dan saling menutup sebagian dalam posisi sedemikian rupa sehingga aliran adalah normal untuk permukaan alat pencegah.

Kemampuan dari alat pencegah dapat dipertinggi, tetapi dengan akibat penambahan hambatan aliran-udara, dengan merapatkan letak lembaran atau cara lain dengan memasang lapisan-lapisan elemen lagi.

Alat pencegah dapat juga dibuat dari bentukan potongan-potongan plastik, kisi-kisi atau plastik atau dalam bentuk sarang tawon yang miring.

### 8.3. Perputaran Kembali.

Jumlah persentasi dari putaran kembali udara





diarah-bawah aliran dari menara pendingin dapat berkisar antara 0 dan 20 persen. Tetapi angka yang lebih tinggi biasanya sehubungan dengan pemasangan-pemasangan satu atau lebih menara pendingin udara mekanis bersel banyak. Oleh karena itu, pada umumnya perputaran kembali buangan udara panas dari menara pendingin secara relatif tidak berguna dalam menara pendingin udara mekanis dibawah kapasitas 0,5 m<sup>3</sup>/dtk, penyimpangan yang disarankan (60% Faktor) untuk suhu bola basah, sebagai contoh butir 8.2.2. mencapai 0,24°C.

Jumlah maksimum dari perputaran kembali untuk menara besar bersel banyak biasanya terjadi dengan angin antara 2 m/dtk sampai 5 m/s serta meniup dengan sudut antara 20° sampai 70° dari garis membujur tengahnya menara. Oleh karena itu, andaikan menara direncanakan dengan benar menurut arah angin selama masa kebutuhan puncak (butir 7.1.4), dapat disimpulkan bahwa perputaran kembali maksimum, seperti dalam hal suhu bola basah maksimum, hanya akan terjadi dari sebagian dari seluruh waktu kerja (beroperasi).

Disarankan, bahwa jika suatu penyimpangan dari perputaran kembali dilakukan, haruslah ditetapkan sekitar 60 % dari maksimum putaran kembali yang diinginkan.

Gambar 12 dan 13 menunjukkan kedua-duanya, angka maksimum dan bagan dari perputaran-kembali diusulkan dengan faktor-faktor pembetulan yang dapat digunakan untuk menyesuaikan penyimpangan perputaran kembali dapat disetujui oleh lingkup yang benar dari pendinginan dan pendekatan yang diinginkan.

Penyimpangan perputaran kembali yang ditetapkan dalam Gambar 12 adalah atas dasar 17°C suhu bola basah. Untuk suhu bola basah lain maka penyimpangan perputaran kembali harus ditambah dengan 4 % untuk setiap derajat pengurangan dalam suhu bola basah ataupun kebalikannya.





Jika menara pendingin yang menjadi pokok dari penelitian bola basah akan dipasang sebagai perluasan dari sebuah menara yang sudah ada ataupun dekat dengan menara-menara lain (lihat butir 7.2.1, 7.2.2, dan 7.2.3) maka penyimpangan perputaran kembali harus berdasarkan jumlah aliran dari menara terdekat dan menara yang baru.

Apabila lingkup pendinginan dan pendekatannya berbeda dengan menara-menara yang telah ada, maka penyimpangan perputaran kembali harus diperiksa dengan memakai angka-angka dari kedua-duanya dan nilai maksimum dari kombinasi penyimpangan perputaran kembali harus dipilih.

Contoh:

-----

Sebuah menara diinginkan untuk dapat menangani sebuah aliran air kecepatan 3,33 m<sup>3</sup>/dtk dengan pendinginan dari 38°C ke 22°C dengan suhu bola basah sekeliling 15°C.

Lengkungan 60 % dalam Gambar 12 menghasilkan suatu penyimpangan yang disarankan sebesar 0,69°C yang mengharuskan perbaikan berikutnya untuk lingkup pendinginan dan pendekatan dalam gambar 13.

Perpotongan di 16°C lingkup pendinginan dan 7°C pendekatan menghasilkan nilai 1,64. Perbaikan untuk suatu pengurangan 2°C dalam suhu bola basah, menghasilkan  $1,64 \times 0,69 \times 1,08 = 1,22^\circ\text{C}$ , berarti rencana suhu bola basah dari masukan udara harus sama dengan 16,22°C apabila dibandingkan dengan suhu bola basah sekeliling yang pada mulanya ditetapkan 15°C. Ini adalah suatu kenaikan dalam besarnya menara sebanyak 20 %.

- 8.4. Pengaruh akan ketinggian. Kalkulasi menara pendinginan melibatkan pemakaian tabel-tabel data psychometric yang dipublikasi yang pada umumnya berdasarkan tekanan barometris sebesar 1.000 mbar. Tekanan barometris turun dengan kecepatan sekitar 1 mbar dengan setiap kenaikan 10 M menara air pendingin dalam arah tinggi, biarpun ini dapat





diabaikan untuk lokasi sampai dengan 300 M menara air pendingin diatas permukaan laut, perbaikan-perbaikan yang cukup harus dilakukan jika merencanakan untuk tempat-tempat di tempat-tempat tinggi.

Pengurangan tekanan mengakibatkan naiknya tingkat kelembaban dan laju nilai-enthalpy dari air-jenuh dan tampak dalam perubahan dari diagram pemindahan panas. Ini digambarkan dalam gambar 14 yang memperlihatkan suatu kenaikan dari nilai entalphy untuk semua titik dalam diagram dalam hal tempat yang tinggi letaknya. Tetapi perbaikan/pembetulan enthalpy akan progressip dengan naikknya temperatur dan tidak terhindarkan kenaikan rata-rata dari dari permukaan air akan lebih besar daripada garis udara, dengan akibat tenaga penggerak akan naik (lebih besar) dengan ketinggian.

Dalam hal menara udara mekanis, kenaikan dari satuan tenaga penggerak mengakibatkan berkurangnya besarnya menara asalkan kipas dapat diandalkan untuk menjaga jumlah aliran-udara dengan tekanan barometris yang berkurang.

Tetapi dalam hal menara udara alamiah; udara yang didapat dari suatu cerobong dengan tinggi tertentu akan berkurang ditempat yang tinggi; ini adalah efek perlawanan yang menguntungkan timbul dari naikknya satuan tenaga penggerak yang memungkinkan tidak adanya perubahan-perubahan yang berarti dalam besarnya menara.

## **9. PERSYARATAN HIDROLIS DARI MENARA PENDINGIN.**

### **9.1. Distribusi Air.**

- 9.1.1. Setiap sistem distribusi air pada menara pendingin dimaksud/mempunyai tujuan untuk mendapatkan penyebaran air yang merata pada filler sedemikian rupa sehingga menghasilkan perpindahan panas optimum untuk filler tersebut.





Pada jenis percik, percikan air diperoleh dari suatu sistem yang terdiri dari beberapa "sprayer" atau pelat pemercik yang kemudian didistribusikan kembali kebagian atas filler oleh "impact" (benturan) beruntun dengan batang-batang pemercik (tiang, batangan-batangan).

Distribusi air ke filler yang tipis dapat dihasilkan dengan suatu sistem saluran "intricate" dari "troughs" yang dimaksudkan untuk berliku dapat memperoleh aliran tipis sepenuhnya dan bebas dari percikan. Bagaimanapun, efisiensi sistem tersebut akan "marred (berkurang)", jika kualitas air yang disirkulasikan tersebut sedemikian rupa sehingga menyebabkan pencemaran dan bentuk yang berliku-liku dari sistem distribusi itu sendiri merupakan hambatan bagi aliran udara.

Demi alasan praktis, pada Umumnya distribusi air berbentuk semburan air seperti pada filter tipe percik, sedang aliran tipis dihasilkan pada bagian atas filler.

9.1.2. Susunan utama "feeder" untuk sistem distribusi pada menara aliran alamiah, dapat berupa saringan pipa-pipa atau saluran terbuka.

- a. Tepi secara radial dimulai dari pusat lingkaran menuju sisi lingkaran [Gambar 15 (a)].
- b. Membentuk sudut  $90^{\circ}$  terhadap feed header [Gambar 15 (b)].
- c. Secara radial dimulai dari tepi lingkaran menuju pusat lingkaran [Gambar 15 (c)].

Metoda lainnya dapat berupa pipa header didalam atau diluar selubung menara atau pada saluran terbuka yang dibentuk menyatu dengan selubung menara.





Menara aliran udara paksa dengan jenis aliran udara silang mempunyai pipa-ppa header luar diatas wadah distribusi, sedang bagi menara dengan jenis aliran udara berlawanan mempunyai sistem distribusi dalam yang airnya diperoleh dari pipa header luar atau dan masing-masing pipa pengisi (riser pipes) tunggal ke tiap sel [lihat Gambar 16 (a) dan (b)].

- 9.1.3. Akan lebih baik bila menara dapat mudah dibagi-bagi dengan mudah dalam daerah-daerah perawatan/pemeliharaan. Untuk menara dengan sell jamak, setiap sel mempunyai sistem air yang diatur tersendiri.

Untuk menara aliran udara alamiah, pemeliharaan/ perawatan pada dasarnya dapat dilakukan dengan membagi menara menjadi 2 bagian menggunakan dinding pembagi tetap, serta mengalokasikan katup- pada sistem distribusi wadah air dingin juga harus dibagi dua.

Tetapi harus diperhatikan bahwa dengan pembagian tersebut, pendinginan menjadi tidak efisien dibandingkan dengan jika menara bekerja penuh dikarenakan udara tidak melalui filler basah.

- 9.1.4. Jika pengaturan suhu air yang telah didinginkan kembali akan dijaga dalam batas yang sempit, pengaturan tersebut dapat dilakukan dengan menambah saluran langsung yang menghubungkan saluran masuk menara ke saluran keluar air yang telah didinginkan atau ke wadah. Sistem tersebut mengurangi jumlah aliran air ke menara sebesar jumlah air yang dialirkan langsung tersebut, dan campuran air yang terjadi akan mencapai suhu yang lebih tinggi dibandingkan dengan suhu yang seharusnya dicapai jika air yang didinginkan kembali tersebut tidak dicampur, pada suhu sekeliling yang sama (metoda lainnya, seperti pengaturan kecepatan kipas atau peredaman





aliran udara, dapat digunakan untuk aplikasi yang tidak terlalu kritis.

## 9.2. Persyaratan Air.

Kehilangan air dari sistem pendinginan terdiri atas. Kehilangan karena penguapan pada proses pendinginan, pembilasan untuk menghindari terjadinya endapan yang berlebihan dan kehilangan karena tiupan udara pada saluran masuk menara atau air entrained drift pada saluran keluar udara. Hal tersebut diatas merupakan jumlah air pembilas minimum yang tidak dapat dikurangi karena kualitas air yang hilang ini sama dengan kualitas air yang biasanya dibocorkan pada proses pembilasan.

### 9.2.1. Kerugian Karena Penguapan.

Untuk mengevaluasi kerugian karena penguapan pada setiap kondisi udara sekeliling, diperlukan pengetahuan tentang tingkat keadaan udara pada saluran masuk dan saluran keluar dan jumlah G udara yang melaluinya. Perbedaan kandungan uapan pada saluran masuk dan saluran keluar langsung menunjukkan jumlah air yang menguap dalam saluran pada menara.

Informasi yang tepat mengenai tingkat keadaan udara keluar jarang diperoleh, bagaimanapun, jika kebutuhan akan menara lebih di perhatikan, dalam mengkaji kebutuhan air, akan cukup tepat asumsi bahwa udara yang keluar menara berupa udara jenuh dan pada suhu air rata-rata ( $T_m$ ). Hal ini memungkinkan penentuan entalpy udara keluar, dan juga perbedaan entalpy antara udara pada saluran keluar dan udara pada saluran masuk, dimana  $L/G$  dapat diperkirakan sebagai  $h/t$ .

Jika  $t_1$  adalah suhu air pada saluran masuk, dan  $t_2$  adlah suhu air pada saluran keluar, maka ;





$$t_m = \frac{t_1 + t_2}{2}$$

dan jika  $W_1$  = kandungan uap air atmosfer kg/kg pada kondisi udara sekeliling dan  $W_2$  = kandungan uap atmosfer kg/kg pada kondisi suhu dari rata-rata pada tingkat keadaan jenuh, maka perkiraan kerugian air dari sistem dalam m<sup>3</sup>/dtk diberikan oleh persamaan berikut :

$$(W_2 - W_1) \frac{Q}{L/G}$$

#### 9.2.2. Kerugian Drift dan Blow Out.

Besarnya kerugian akibat tiupan udara dan percikan tergantung pada faktor-faktor berikut:

- a. Laju aliran udara melalui menara, semakin tinggi laju aliran udara semakin besar rugi-rugi percikan.
- b. Kekuatan kecepatan dan arah angin relatif terhadap orientasi menara dan daerah saluran udara masuk.

Tindakan-tindakan yang diambil untuk menanggulangi kerugian-kerugian diatas terdapat pada butir 7.3.1., 7.3.2. dan 9.2. Untuk dapat menentukan kebutuhan air, kerugian tersebut dapat ditanggulangi dengan menambah jumlah aliran air. Sirkulasi hingga sebesar 0,1 % dari jumlah aliran air sirkulasi.

#### 9.2.3. Kerugian Pembilasan.

Pembilasan diperlukan dalam sistem penguapan untuk mengatasi konsentrasi endapan atau kotoran dalam air sebagai akibat proses penguapan. Pembilasan ini dapat berlangsung terus menerus atau terputus-putus, pembilasan terus menerus lebih disukai untuk





mendapatkan kondisi yang lebih stabil dan lebih ekonomis dalam menentukan ukuran-ukuran fasilitas pembuangan.

Kondisi kestabilan kimia dari air pada sistem pendinginan ditunjukkan pada gambar 18. Saat sejumlah  $V_e$  air menguap dari sistem dan sejumlah  $V_p$  air dibilas maka jumlah air tambahan yang dibutuhkan adalah  $V_e + V_p$ .

Jika konsentrasi kotoran pada air tambahan dalam karakteristik yang mudah diukur seperti total kotoran atau chloride) adalah  $C_1$  %, dan kondisi stabil didalam sistem sirkulasi dengan pembilasan terus menerus,  $C_2$  %, maka :

$$\frac{C_2}{C_1} = \frac{V_p + V_e}{V_p} = \frac{\text{total tambahan}}{\text{pengurasan}}$$

Perbandingan  $C_2/C_1$  adalah faktor konsentrasi  $C$ . Jelas bahwa faktor konsentrasi tergantung pada parameter lain sehingga :

$$V_p = \frac{V_e}{(C - 1)}$$

misal, untuk faktor konsentrasi 4, kotoran = 1/3 laju penguapan dan seterusnya. Secara grafis, hubungan tersebut diperlihatkan pada Gambar 19, yang menunjukkan bahwa pada konsentrasi-konsentrasi tinggi, sistem cenderung menjadi tidak stabil untuk penyimpangan air yang sedikit, sebaliknya pada konsentrasi rendah dibutuhkan sejumlah besar air tambahan untuk perbedaan-perbedaan konsentrasi yang sangat kecil. Dilihat dari segi biaya dan penyediaan sumber air mempunyai arti bahwa pengendalian kimia akan lebih ekonomis daripada pengendalian faktor konsentrasi.





### 9.3. Rancangan Wadah Air Dingin.

9.3.1. Lokasi geometris dan pembagian. Wadah menara pendingin biasanya ditentukan langsung dibawah filler, variasi kapasitas biasanya diperoleh engan mengubah kedalaman yang berkaitan dengan permukaan dasar yang digunakan struktur. Bentuk wadah biasanya mengikuti bentuk struktur menara, bulat untuk menara aliran alamiah dan segi empat untuk menara aliran udara mekanis. Oleh karena itu landasan menara dapat terletak dibawah atau menyatu dengan struktur wadah. Pada menara aliran udara alamiah, biasanya wadah dimasukkan menjadi bagian dari kontrak menara, tetapi untuk menara aliran mekanis strukturnya dapat dibuat dengan bingkai kayu biasanya wadah yang dibuat dalam kontra terpisah. Untuk hal ini perlu diperhatikan dengan cermat ketepatan baut-baut pemegang, pegangan fondasi dan lain-lain, untuk memastikan bahwa struktur menara dapat dipasang dengan benar rangka wadah.

Lantai wadah air dingin harus beralur atau mempunyai kemiringan yang memungkinkan pembersihan endapan lumpur dan harus disediakan volume untuk menampung limpahan air, karena sangat jarang dapat dicapai laju penguapan dan laju air tambahan yang sama. Biasanya ditambah dinding bebas pada dinding luar diatas peluapan paling sedikit tinggi 225 mm, dan pada waktu menara beroperasi harus tinggi permukaan air harus ditentukan dengan tepat sehingga terdapat dinding bebas diatas batas penetapan yang cukup untuk dapat menyerap sejumlah air yang terendam dan berada dibawah filler. Tinggi yang baik untuk ini adalah sekitar 75 hingga 150 mm. Nilai sebenarnya dapat dengan mudah ditentukan dengan menjalankan sistem dengan permukaan air berada pada batas peluapan dan mengamati penurunan permukaan air pada saat air bersirkulasi.





Pengurasan dan fasilitas untuk mengeringkan wadiah pada umumnya diatur untuk mengalirkan air keluar menuju saluran yang sama, tetapi pada kondisi yang sangat kotor (endapan sangat banyak) diperlukan pengaturan saluran pembuangan yang terpisah. Saluran pembuangan dan sistem dapat dikombinasikan untuk fasilitas peluapan, pengurasan dan pengeringan.

Pembagian daerah wadiah pada menara-menara tunggal menjadi beberapa daerah perawatan / pemeliharaan sangat dianjurkan, terutama pada daerah dimana endapan atau pada daerah aliran air deras. Juga untuk menara-menara yang telah terbagi dalam daerah-daerah perawatan / pemeliharaan daerah wadiah perlu dibagi karena dipandang dari segi keamanan, wadiah harus dikeringkan pada saat perawatan filler dikerjakan.

Jika wadiah telah terbagi, wadiah harus dihubungkan dengan saluran utama aliran air dingin melalui pipa pesat atau dengan alat isolasi cara lain dengan dimensi yang tepat dan dengan pengaturan rancangan yang sesuai dengan melalui peralatan memperhatikan kerugian hidrolis.

#### 9.3.2. Penentuan Kapasitas.

Kapasitas wadiah menara pendingin dapat ditentukan dengan memperhatikan waktu yang dibutuhkan untuk menghentikan aliran air tambahan kedalam sistem pada saat perawatan/pemeliharaan maupun kecelakaan. Dalam rangka waktu tersebut kandungan air pada sistem berkurang karena penguapan dan perlu ditentukan laju kerugian dari efek dan kerugian tersebut pada konsentrasi kotoran skmsistem.

Faktor konsentrasi (CT), setelah waktu T, diberikan oleh:





$$CT = Cn \left( \frac{Vb + Vs}{Vb + Vs - Ve} \right)$$

dimana:

CN = Faktor konsentrasi semula

Vb = Volume wadah air dingin.

Vs = Volume lainnya pada sistem (selain pada wadah)

Ve = Volume yang menguap =  $3600 T \times e/100 \times Q$  dimana:

e = laju penguapan yang dinyatakan dalam persentase dari aliran air sirkulasi Q

Akhirnya jika air dalam wadah menguap seluruhnya:

$$CT = CN \left( \frac{Vs + Vb}{Vs} \right)$$

Dari persamaan diatas, karakteristik wadah dapat digambarkan seperti dari tipe yang ditunjukkan pada Gambar 20 yang menunjukkan pengaruh berbagai kedalaman wadah air dingin bagi untuk luas permukaan dari laju pengeringan tertentu.

Perlu diperhatikan bahwa garis-garis dengan konsentrasi yang sama bertemu pada suatu titik dibawah sumbu dimana kedalaman = nol dengan jarak = volume air pada sistem pipa dan lain-lain.

Kesalahan perhitungan karena tidak memasukkan pengaruh kerugian percikan air dapat diabaikan.

Jumlah kenaikan konsentrasi lumpur yang diijinkan tergantung pad laju penimbunan lumpur yang terjadi pada pipa kondensor atau tempat-tempat lainnya, dan kandungan alkalin dari sistem perlu diawasi dengan ketat.





#### 9.3.3. Pengaruh Hisapan Pompa dan Saluran Air Masuk

Perlu dijamin bahwa kondisi hisapan pompa tidak membatasi jumlah air diwadah air dingin yang dapat di keringkan. Sebagai contoh, posisi impeler selalu harus lebih rendah dari permukaan atas pembuangan (*draw done*) yang paling rendah sejumlah tertentu, yang dapat dipastikan akan melindungi impeler terhadap kemungkinan terjadi kavitasi dan pusingan air. Mungkin perluk disediakan kapasitas lebih (yang sebetulnya tidak digunakan) jika dianggap akan terjadi penimbunan lumpur yang berlebihan.

Dianjurkan agar tingkat permukaan air yang rendah untuk berada diatas dasar wadah secukupnya untuk memungkinkan endapan lumpur dan lain-lain.

Luar Penampang saluran dan saringan dari wadah air dingin kesaluran masuk rumah pompa, harus disesuaikan dengan laju sirkulasi air normal dengan permukaan air yang diturunkan (yang juga berarti mengurangi penampang hidrolis) dan harus diberikan kelonggaran yang cukup untuk kerugian hidrolis.

#### 9.4. Kualitas Air dan Analisanya.

Analisa air dapat memberikan informasi mengenai hal-hal yang sangat berbahaya bagi menara atau menunjukkan faktor-faktor yang mempengaruhi proses perpindahan panas.

##### 9.4.1. Konsentrasi.

Perlu diperhatikan dalam menganalisa air bahwa analisa yang tersedia pada tahap rancangan merupakan analisa yang dilakukan air tambahan sehingga harus perlu diberikan kelonggaran yang sesuai dalam menyatakan konsentrasi air yang bersirkulasi dan juga untuk kemungkinan kotoran tambahan.





#### 9.4.2. Ketidak Murnian/Kekotoran.

Ke kotoran air akan mempengaruhi proses perpindahan panas dengan mengurangi tekanan uap dari air. Perhitungan untuk air laut diberikan pada butir 10.7. dan Gambar 20 Lihat BS4485 Part 2 *Structural Design of Cooling Towers Water Cooling Towers*.

Sifat dan jumlah zat terlarut akan menentukan batas pelarutan dimana proses perpindahan panas terganggu, tetapi batas pelarutan dimana perpindahan panas terpengaruh, tetapi dianjurkan untuk meneliti pengaruh tersebut jika kekotoran lebih dari 5000 ppm.

#### 9.4.3. S u h u.

Suhu air pada sistem sirkulasi air akan lebih tinggi dari suhu air tambah saat dianalisa, dan harus diberikan kelonggaran untuk pengaruh suhu tersebut pada korosi dan pergerakan bagian yang terbuat dari plastik tertentu mempunyai batas atas bagian yang terbuat dari plastik mempunyai batas atas suhu penggunaannya, dan diatas 65°C jaminan bagi bagian yang terbuat dari kayu akan menurun dengan pesat.

#### 9.4.4. "Entrainment of gases" / Masukan gas.

Air pendingin yang bersirkulasi akan menyerap oksigen dan gas-gas lainnya dari atmosfer. Penyerapan tersebut akan mempengaruhi nilai pH. air dan kandungan oksigen, sertamenaikan kemungkinan korosi.

#### 9.4.5. Kandungan Sulphate.

Jika terlihat bahwa kandungan sulphate tinggi, dapat digunakan beton yang tahan terhadap sulphate didaerah-daerah yang terkena air pada menara.





#### 9.4.6. Nilai pH.

Nilai pH yang terlalu rendah atau tinggi akan mempengaruhi umur dari struktur menara atau filler, sebagai contoh umur kayu dapat terpengaruh bila nilai pH tidak dijaga diantara 5 sampai 8,5.

#### 9.4.7. Kandungan Minyak.

Kandungan minyak diatas 10 ppm akan mempengaruhi laju penguapan dan mengurangi efisiensi menara.

#### 9.4.8. Kandungan Biologis.

Pertumbuhan organik dapat menyumbat saluran air, mengurangi proses perpindahan panas karena pengotoran atau menyebabkan perubahan struktur /bentuk filler akibat beban lebih.. Inklusi pada air dapat merangsang pertumbuhan biologis.

#### 9.4.9. Pemakaian Chlor.

Chlor banyak digunakan untuk mengendalikan pertumbuhan ganggang pada sistem pendinginan. Chlor berlebihan harus dihindarkan karena dapat merusak kekuatan kayu. Biasanya dipastikan kadar klor yang terjadi pada saluran masuk menara cukup untuk menahan pertumbuhan ganggang tetapi tidak akan merusakkan kayu.

### 9.6. Penggunaan air garam (larutan garam).

#### 9.6.1. U m u m.

Dalam pemanfaatan sumber-sumber air harus dihindarkan pemakaian air bersih kualitas. Penggunaan sumber air, tinggi untuk kebutuhan industri, terlebih lagi bila jumlah air yang digunakan cukup besar seperti dalam pusat pembangkit daya industri harus hati-hati. Terus setiap instalasi harus menggunakan kualitas air terendah yang cocok untuk proses dimaksud dan





jika dikaitkan dengan jumlah yang dibutuhkan maka mungkin diutamakan untuk meningkatkan penggunaan air laut dalam larutan air pendingin.

9.6.2. Masalah yang terjadi pada penggunaan air garam dan tindakan pencegahan yang dianjurkan.

9.6.2.1. Karena air laut mengandung kotoran dari pada air bersih perbandingan konsentrasi mungkin digunakan pada sistem air garam, umumnya lebih rendah daripada yang digunakan pada sistem air segar (lihat butir 9.4.)

9.6.2.2. Tingginya kandungan sulfat dalam air laut membuat sedimentasi penahan sulfat dalam seluruh bidang sentuh air dalam menara dan wadah air dingin yang berakibat penambahan biaya (lihat BS 4485 part.4 *Structural Design of Cooling Towers Water Cooling Towers*).

9.6.2.3. Air laut mengandung organisme pelubang kayu kapal yang lebih agresif terhadap kayuan dibanding yang ditemukan didalam air segar, membutuhkan prosentase kandungan lebih besar dalam kayu (lihat BS 4485 part 4 *Structural Design of Cooling Towers Water Cooling Towers*).

Pencegahan melawan pencemaran ganggang adalah sama terhadap yang dilakukan dalam sistem air segar.

9.6.2.4. Efek korosi mungkin nyata ada kecuali kalau kurang perlindungan atau logam tahan korosi digunakan, hal tersebut nyata bahwa air garam dalam sirkulasi dalam temperatur tinggi terkonsentrasi dan secara singkat terisi udara.

9.7. Efek Salinitas Pada Perpindahan Panas.





#### 9.7.1. U m u m.

Bila kotoran total pada air sirkulasi berjumlah kurang dari 5000 ppm tidak diperlukan koreksi atas perhitungan perpindahan panas (BS 4485 Part 2 Structural Design of Cooling Towers Water Cooling Towers. ).

Penambahan air laut yang mengandung kotoran mempunyai jumlah lebih besar dari harga tersebut dan salinitasnya bervariasi antara 30 % dan 100 % . Pada konteks tersebut 100 % salinitas adalah 31 gr sodium chloride per liter, misal 31000 ppm atau 3,1 % dari massa. Sirkulasi menggunakan air laut akan lebih terkonsentrasi dari pada hanya sebagai air tambah dan dapat mengandung hingga 60000 ppm garam atau 6 % dari massa. Adanya garam dalam larutan merubah tekanan jika dibandingkan dengan air murni atau air bersih yang tiap rapat jenis dan panas jenis kandungan garamnya rendah.

#### 9.7.2. Perubahan Rapat Jenis dan Panas Jenis.

Pada prakteknya perubahan rapat jenis (yang menaik) diimbangi oleh perubahan pada panas jenis (yang menurun), sehingga sembarang dan tidak terdapat perubahan yang diakibatkan dari persamaan :

$$L_c \ t = G \ h.$$

Jadi volume air pada sirkulasi mempunyai kapasitas menyerap panas yang sama pada sumbernya dan karena t tidak akan berubah maka tidak ada perubahan kemiringan harga udara-air dan kemiringan garis udara pada diagram perpindahan panas.

#### 9.7.3. Perubahan Tekanan Uap.

Jika pelarut ditambahkan pada larutan untuk membentuk larutan "encer", tekan uap larutan (P3) akan relatif lebih rendah daripada





larutan murni (P<sub>2</sub>) sehingga:

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{W_2 M_1}{W_1 M_2 + W_2 M_1} = n$$

dimana:

- n adalah perbandingan molekul larutan;
- W<sub>1</sub>, M<sub>1</sub>, W<sub>2</sub>, M<sub>2</sub> adalah berat dan berat molekul masing-masing dari pelarut dan larutan, tekanan uap larutan menjadi:

$$P_3 = nP_2.$$

dan merupakan nilai rendah (relatif terhadap air segar) yang digunakan pada persamaan enthalpi yang membutuhkan kondisi batas uap jenuh dimana perpindahan panas terpengaruh.

$$h = 1,005658 t + 0,622 \frac{P_3}{(P-P_3)} (1,846 t + 2501)$$

dimana t adalah suhu (°C) air yang berkaitan dengan batas uap dan P adalah tekanan atmosfer, diambil sebagai 10,1325 Pa (muka laut) dimana:

$$1 \text{ Pa} = 1\text{N}/\text{M}_2.$$

Gambar 22 menunjukkan hasil reduksi dari ketersediaan gaya dorong rata-rata jika diharapkan suhu air yang sama. Keseimbangan untuk balans panas yang sesuai kerja perpindahan panas harus dilakukan pada suhu kerja yang lebih tinggi, dan akibatnya pendekatan akan lebih luas untuk selang yang sama dibandingkan dengan air bersih.

Untuk 6 % dari massa larutan garam sodium chloride, molekulnya adalah :





$$n = \frac{94 \times 58,5}{94 \times 58,5 + 6,0 \times 18} = 0,981$$

$$P_3 = 0,981 P_2.$$

Untuk suhu air pada saluran masuk 30°C dan suhu saluran keluar 18°C, enthalpi pada air dikurangi masing-masing dari 99,49 KJ/kg hingga 98,13 KJ/kg dan 50,81 KJ/kg hingga 50,18 KJ/kg.

## 10. PERALATAN MEKANIS YANG DIBUTUHKAN.

### 10.1. Kipas-kipas

Sifat menara yang memiliki tahanan statis yang rendah menyebabkan lebih disukai penggunaan kipas aliran aksial. Jika diinginkan untuk memperoleh operai yang sangat tenang, perlu digunakan digunakan kipas sentrifugal. Harus dicatat bahwa akibat pertambahan ukuran dan masa untuk tugas yang sama penggunaannya yang sepi. Setiap kipas yang digunakan baik untuk menara aliran paksa maupun aliran induksi yang dibutuhkan untuk beroperasi pada dua atau lebih kecepatan (contoh: dua kecepatan atau penggerak kecepatan yang dapat berubah-ubah) harus diperiksa dengan pabrik pembuat kipas : untuk menjamin bahwa kipas tidak bekerja pada kecepatan yang mendekati kecepatan kritis.

Semua sudut kipas harus diatur dengan sudut ketidak seimbangan gaya aerodinamis. Kipas menara pendingin harus dibalans statis dan memiliki sudu-sudu yang diberi nomer atau diberi tanda agar dapat dirakit dengan tepat.

- A. Penggerak kipas
- B. Roda gigi reduksi kecepatan
- C. Kopling
- D. Poros yang terdiri atas, satu atau dua bagian
- E. Batas pengisian oli pada roda gigi dan





- F. Saluran gemuk kesemua bantalan
- G. Saklar anti getaran
- H. Tongkat untuk control ketinggian oli, juga pengisian dan pembuangan
- I. Kopling penerima
- J. Kopling retaining straps
- H. Pelindung poros
- L. Roda gigi
- M. Tumpuan roda gigi dan motor

Gambar 23 Persiapan untuk penyetelan kipas aliran Induksi.

#### 10.1.1. Kipas-kipas Aliran Induksi.

Pada menara pendingin kipas-kipas ini dibutuhkan bagi operasi pada kondisi yang sangat panas dan kelembaban yang tinggi (mendekati 100 %). Kipas dengan ukuran diameter kipas sampai dengan 2 mt, biasanya dihubungkan langsung dengan motor listrik berkecepatan rendah/menengah atau digerakkan dengan menggunakan V belt.

Sudut kemiringan kipas biasanya kecil ini telah diatur dipabrik pengaturan sudut kemiringan jarang dilakukan dilapangan.

Pada kipas ukuran diameter kipas lebih besar dari 2 meter, biasanya motor penggerak menggunakan roda gigi reduksi dengan digerakkan oleh poros dan motor listrik (lihat Gambar 23).

Pada kipas dengan diameter 2 meter lebih biasanya sudut kemiringan kipas dapat diatur secara manual percikan air dan harus terbuat dari bahan yang tahan terhadap efek korosi atau yang sudah dilapisi bahan pelindung sehingga tahan terhadap karat yang mungkin timbul akibat air sirkulasi yang menyentuh daun kipas dan permukaan poros.

Bahan pelindung permukaan harus tahan terhadap pengikisan akibat pukulan air yang jatuh.





#### 10.1.2. Kipas-kipas Aliran Paksa.

Kipas-kipas dengan ukuran diameter sampai dengan 2 mt, biasanya didudukkan pada poros motor penggerak. bentuk diameter diatas 2 meter biasanya digerakkan dengan menggunakan V belt. Kipas-kipas aliran paksa dimana udara sekeliling menjadi fluida kerjanya, dapat dipengaruhi oleh debu atau puing-puing. Lapisan pelindung pada kipas ini diperbolehkan untuk mengalami resiko kerusakan akibat debu dan puing-puing ini diperbolehkan untuk rusak akibat karat yang timbul akibat persentuhan langsung terus menerus dengan air sirkulasi.

Kipas aliran paksa harus diletakkan sedemikian rupa, sehingga air yang masuk kedalam rumah kipas dapat keluar kembali kedalam wadah air pendingin.

#### 10.2. Kotak Roda Gigi.

Kotak roda gigi harus diperhitungkan 1,75 kali tenaga kipas pada kondisi rancangan atau tenaga motor terpasang mana yang lebih besar dan berdasarkan dari 12 jam perhari kerja.

Bantalan poros keluar harus mempunyai daya tahan 100.000 jam; bilamana poros dibebani dengan momen lentur sebesar 3 x torsi normal pada kipas. Karena ini akan menyebabkan beban radial yang berlawanan pada bantalan perhatian khusus harus diberikan pada hubungan antara kelonggaran bantalan rentang dan diameter kipas.

Kenaikan suhu udara sekeliling selama operasi normal harus diperhitungkan dan diletakkan pada daerah iklim sangat dingin, harus dipertimbangkan masalah start dalam keadaan dingin.

- 10.2.2. Sekat minyak ganda merupakan jenis yang disukai untuk memperkecil kemungkinan kebocoran oli atau pemasangan kotak roda gigi adalah dalam posisi aliran induksi, yaitu pada daerah dengan kelembaban mendekati 100 %, harus dilengkapi dengan kipas pada bagian luar





untuk memperkecil resiko kondensasi dari uap air yang tergantung dalam penunjuk pelumas, pipa bergemuk dan tingkat ketinggian oli harus diletakkan diluar kipas untuk memudahkan perbaikan/perawatan.

#### 10.3. Poros Penggerak dan Kopling.

Poros penggerak biasanya ditumpu mengambang dipasang pada kopling atau sambungan universal pada ujungnya. Dengan demikian persiapan poros penggerak semacam ini dapat dirancang untuk mengatasi ketidak lurusan sumbu dan persyaratan mengambang diujung yang tak dapat dihindari. Umumnya poros penggerak berbentuk pipa untuk memperkecil masa dan panjangnya hingga 4,5 m. Panjang poros tunggal yang lebih dari 3 mt harus disetimbangkan secara dinamis.

Jika dipakai poros penggerak pola tak-mengambang, maka bantalan penumpu harus dari jenis direkat meluruskan sendiri yang dirancang untuk pelumasan pada waktu bekerja. Dengan pengaturan semacam ini maka lebih sukar untuk mengatasi ketidaklurusan sumbu, dan unit penyambung disyaratkan untuk dipasang secara kaku relatif satu sama lain.

Penyetimbangan yang baik dari poros penggerak dan kopling sangatlah penting. Dengan rancangan yang mendetil, menjamin putaran poros simetris dan kontrol mutu yang baik dalam pabrik, keperluan untuk menyetimbangkan dinamik dapat dihindari terutama jika kopling sudah disetimbangkan pada posisi statik.

Komponen berputar yang berongga harus direkat untuk mencegah masuknya air atau harus dikeringkan secara efektif untuk mencegah timbunan air yang mengganggu kesetimbangan. Pemilihan kopling fleksibel sesuai dengan (BS.3170). Jika diperlukan pelindung untuk menjamin keselamatan personil maka dipakai acuan (BS 1649).





Semua komponen harus dilindungi dari korosi dengan memperhatikan situasi ditempat mana akan bekerja. untuk komponen yang berputar adalah penting, bahwa perlu kontrol yang ketat untuk ketebalan dari lapisan pelindung, dalam hubungannya untuk menjaga kesetimbangan interen. pedoman dalam perlindungan komponen baja terhadap korosi sesuai (cp 2008).

#### 10.4. Penggerak Kipas

##### 10.4.1. Motor Listrik

Motor listrik ini sesuai dengan BS 4999 dan BS 5000.

10.4.1.1. Motor listrik ini dipersyaratkan untuk dapat beroperasi secara penuh pada semua kondisi cuaca, oleh karena itu harus dilindungi penuh terhadap cuaca agar dapat tetap beroperasi penuh. Sebelum operasi dan pada waktu listrik sudah pada posisi yang sebenarnya, penutup lobang pembuangan pada posisi paling bawah harus dilepas.

10.4.1.2. Motor listrik harus dipilih, sesuai dengan frekuensi start yang diperlukan dan sistem start yang dipergunakan, agar dapat menghasilkan torsi percepatan yang memadai untuk kipas dan penggerakannya pada rentang kondisi iklim yang diperkirakan. Perhatian khusus harus diberikan pada setiap persyaratan untuk start dalam cuaca dingin bagi menara yang kering.

#### 11. TINDAKAN PENCEGAHAN

##### 11.1. U m u m

Bahaya dalam menara aliran udara mekanis banyak disebabkan oleh bagian-bagian mesin yang berputar dan sumber dayanya. Menara aliran alamiah dan beberapa menara pendingin aliran mekanis yang





sangat besar, memperbesar bahaya wadah air acces dan kemungkinan terperangkapnya petugas ketika dalam menara sangat lembab. menara pendingin aliran udara mekanis, yang besar, dapat menimbulkan lingkungan luar menara berbahaya menimbulkan lingkungan luar menara berbahaya karena kabut dan pembentukan butiran air didaerah sekitarnya yang berdekatan, demikian juga tiupan dari menara aliran udara paksa atau aliran udara alamiah.

#### 11.2. Peralatan mekanis.

Bagian-bagian berputar dalam posisi yang dapat dilalui harus terjaga secara memadai (BS 5304). Poros harus dicegah dari pergeseran besar oleh sabuk pengaman yang sesuai dengan terpasang bebas dari poros (gambar 23, item k). Cerobong kipas yang dimaksudkan sebagai penghalang, terhadap akses, harus mempunyai ketinggian dan kedalaman yang sesuai. Ukuran-ukuran ketinggian tidak kurang dari 1,5 m diatas ketinggian lantai/dasar lokal, kedalam internal lidah kurang dari 0,8 m terhadap bagian-bagian dalam yang berputar.

#### 11.3. Peralatan Listrik.

Pemutus arus keadaan darurat harus terpasang berdekatan setop motor. Setiap peralatan listrik dan rangkaianannya harus sesuai dengan aturan keamanannya dan cocok untuk kondisi-kondisi operainya.

#### 11.4. Akses.

Setiap pintu yang disediakan untuk akses kedalam menara pendingin harus dirancang sedemikian rupa sehingga mudah dibuka dari dalam menara dan terbuka keluar.

Pengencang-pengencang, kunci-kunci dan sebagainya pada setiap pintu akses, harus sedemikian rupa sehingga tidak mudah terkunci secara tak sengaja. Setiap akses untuk setiap menara harus dirancang





sesuai dengan peraturan-peraturannya dan terkendali serta terjaga.

Setiap saluran keluar dan jalan air, harus terjaga dengan baik. Terpasang pada wadah air, tangga darurat harus sampai ke dasar menara.

#### 11.5. Pencegahan Kebakaran.

Daerah yang mudah terbakar tidak berada dalam kondisi basah, mungkin perlu disediakan penyebar air atau semecamnya.

Bilamana suatu menara sesuai untuk pertimbangan diatas harus tersedia lebih dari satu akses ke bagian atas menara.





Tabel 1 : Simbol dan Satuan.

Simbol	Uraian	Satuan
a	Luas efektif permukaan perpindahan panas unit per volume filler menara.	$m^2/m^3$
A	Luas total filler normal terhadap aliran udara.	$m^2$
C	Panas jenis air	$kJ/(kg \text{ } ^\circ C)$
G	Aliran udara kering per luas daerah filler normal terhadap aliran udara.	$Kg/(m^2 S)$
h	Enthalpi campuran uap udara air	$kJ/kg$
$h_G$	Enthalpi campuran udara yang melalui filler.	$kJ/kg$
$h_2$	Enthalpi lapisan tipis udara jenuh yang bersentuhan dengan dan pada suhu air yang melalui filler.	$kJ/kg$
K	Koefisien perpindahan laju aliran massa yang didefinisikan sebagai perbedaan kelembaban absolut.	$kg/(m^2 S)$
L	Laju aliran massa air persatuan luas filler.	$kg/(m^2 S)$
n	Konstanta	-
Q	Sirkulasi aliran air	$m^3 /S$
$Q_m$	Aliran air tambah	$m^3 /S$
$Q_p$	Aliran air bilas	$m^3 /S$
$t_1$	Suhu air panas pada saluran masuk ke menara pendingin.	$^\circ C$
$t_2$	Suhu air setelah pendinginan	$^\circ C$





$t_E$	Suhu campuran air setelah didinginkan dan air tambah yang meninggalkan bak air dingin.	-
$t_m$	Suhu air tambahan	$^{\circ}\text{C}$
$t_p$	Suhu air bilas	$^{\circ}\text{C}$
$t_{DB}$	Suhu bola kering	$^{\circ}\text{C}$
$t_{WB}$	Suhu boal basah	$^{\circ}\text{C}$
$v$	Volume efektif filler persatuan filler	$\text{m}^3 / \text{m}^2$
$ka \text{ V/L}$	Karakteristik Menara	-
$L/G$	Perbandingan air dan udara	-
$\Delta h$	Perubahan enthalpi udara	$\text{kJ/kg}$
$\Delta t$	Selang Pendinginan	$^{\circ}\text{C}$
$\lambda$	Konstanta	-
$\rho$	Berat jenis kerapatan udara	$\text{kg/m}^3$
$\phi$	Kelembaban Nisbi	%
-	Suhu Pendekatan	$^{\circ}\text{C}$
-	Daya	w
$P$	Perubahan kerapatan udara	-





Tabel 2 - Acuan Standar untuk Dimensi Fisik (lihat gambar 7).

Uraian	Aliran Alamiah (Gb.7(a))	Aliran Silang (Gb.7(b))	Aliran Induksi (Gb.7(c))	Aliran Paksa (Gb.7(d))
Puncak udara keluar	D <sub>1</sub> H <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> H <sub>1</sub>	D <sub>1</sub> H <sub>1</sub>	B <sub>1</sub> H <sub>1</sub>
Tangkai kipas & kipas	D <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	D <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	D <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	-
Kipas dek	-	B <sub>3</sub> H <sub>3</sub>	B <sub>3</sub> H <sub>3</sub>	-
Tirai eliminator	D <sub>4</sub> H <sub>4</sub>	-	B <sub>4</sub> H <sub>4</sub>	B <sub>4</sub> H <sub>4</sub>
Pipa Distribusi	- H <sub>5</sub>	- H <sub>5</sub>	- H <sub>5</sub>	- H <sub>5</sub>
Wadah Pendistribusi	- -	B <sub>6</sub> H <sub>6</sub>	- -	- -
Puncak kipas	D <sub>7</sub> H <sub>7</sub>	B <sub>7</sub> H <sub>7</sub>	B <sub>7</sub> H <sub>7</sub>	B <sub>7</sub> H <sub>7</sub>
Puncak udara masuk	D <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	B <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	B <sub>8</sub> H <sub>8</sub>	B <sub>8</sub> H <sub>8</sub>
Landasan Filler	D <sub>9</sub> H <sub>9</sub>	B <sub>9</sub> H <sub>9</sub>	B <sub>9</sub> H <sub>9</sub>	B <sub>9</sub> H <sub>9</sub>
Wadah air dingin	D <sub>0</sub> H <sub>0</sub>	B <sub>0</sub> H <sub>0</sub>	B <sub>0</sub> H <sub>0</sub>	B <sub>0</sub> H <sub>0</sub>
Tingkat air	D <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	B <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	B <sub>10</sub> H <sub>10</sub>	B <sub>10</sub> H <sub>10</sub>
Landasan wadah air dingin	D <sub>11</sub> H <sub>11</sub>	B <sub>11</sub> H <sub>11</sub>	B <sub>11</sub> H <sub>11</sub>	B <sub>11</sub> H <sub>11</sub>

D = diameter (yang dipakai)

B = dimensi lebar dan panjang yang tegak lurus terhadap sumber menara.

H = tinggi (dimensi vertical di atas atau di bawah tepi wadah).





Tabel 3.- Penambahan Desibel

Perbedaan antara dua harga yang ditambah (dB)	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Jumlah yang ditambahkan untuk tingkat yang digabung (dB)	3	2.5	2	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.7	0.6	0.5

Nilai di bawah 0.5 dB adalah umum digunakan di lapangan.

Tabel 4. - Tipikal perbaikan yang diperoleh dari spektra pita oktaf untuk berbagai jenis kipas.\*

Jenis Kipas	Perbaikan seluruh tingkat daya suara untuk pusat frekuensi pita oktaf (Hz) dari :							
	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
Sentrifugal :								
- Daun lengkung ke belakang	-4	-6	-9	-11	-13	-16	-19	-22
- Daun lengkung ke depan	-2	-6	-13	-18	-19	-22	-25	+30
- Daun Radial	-3	-5	-11	-12	-15	-20	-23	-26
- Aksial	-7	-9	-7	-7	-8	-11	-16	-18
- Aliran Paksa	0	-3	-6	-6	-10	-15	-21	-27

\* Data rincian untuk kipas-kipas khusus dapat berbeda pada beberapa tingkat.



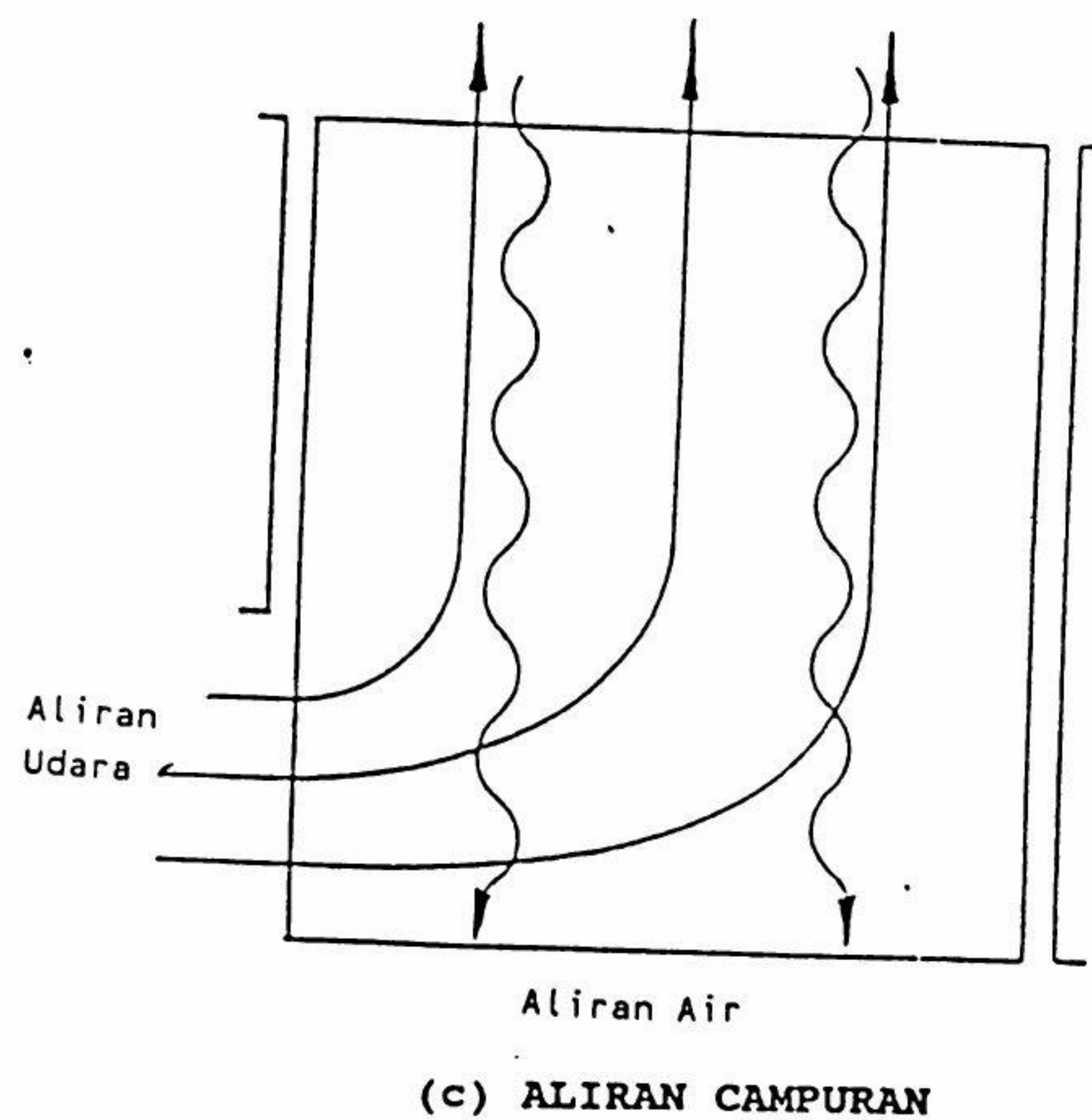
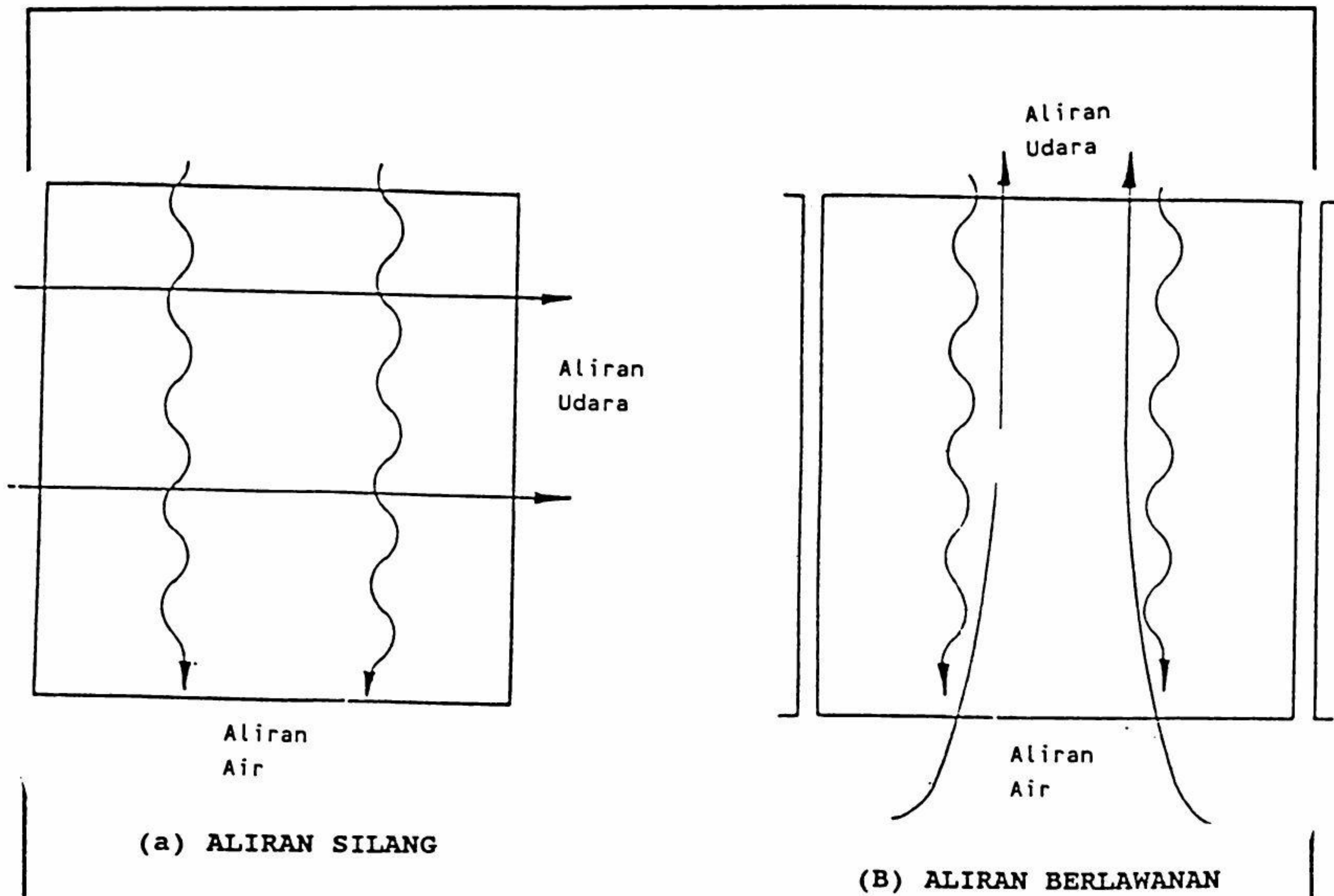


Tabel 5. - Perhitungan Kebisingan Menara.

No.	U r a i a n	Tingkat kebisingan pada pusat frekuensi pita oktaf (Hz) dari :								
		31.5	62.5	125	250	500	1000	2000	4000	8000
		dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB	dB
1.	$L_w$	113	113	113	113	113	113	113	113	113
2.	Perbaikan pita oktaf	-7	-7	-9	-7	-7	-8	-11	-16	-18
3.	Tambahan Freq discrete	5	-	-	-	-	-	-	-	-
4.	Bersih	111	106	104	106	106	105	102	97	95
5.	Tambahan untuk kipas kedua	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6.	Bersih	114	109	107	109	109	108	105	100	98
7.	Perkiraan kebisingan air	108	108	104	104	108	110	104	100	80
8.	Perbedaan antara 6 & 7	113	113	113	113	113	113	113	113	113
9.	Penggunaan tabel 3 harga yang ditambahkan lebih besar dari 6 & 7	1	2.5	1.8	1.2	2.5	2	2.5	3	0
10.	Bersih, berkenaan dengan semua nomor	115	111	109	110	111	112	107	103	98
11.	Perbaikan jarak	-55	-55	-55	-55	-55	-55	-56	-58	-63
12.	Bersih	60	56	54	55	56	57	51	45	35
13.	Perbaikan directivity ditentukan pada 90°C	-1	-2	-3	-5	-8	-10	-11	-11	-11
14.	Spektrum Akhir	59	54	51	50	48	47	40	34	24



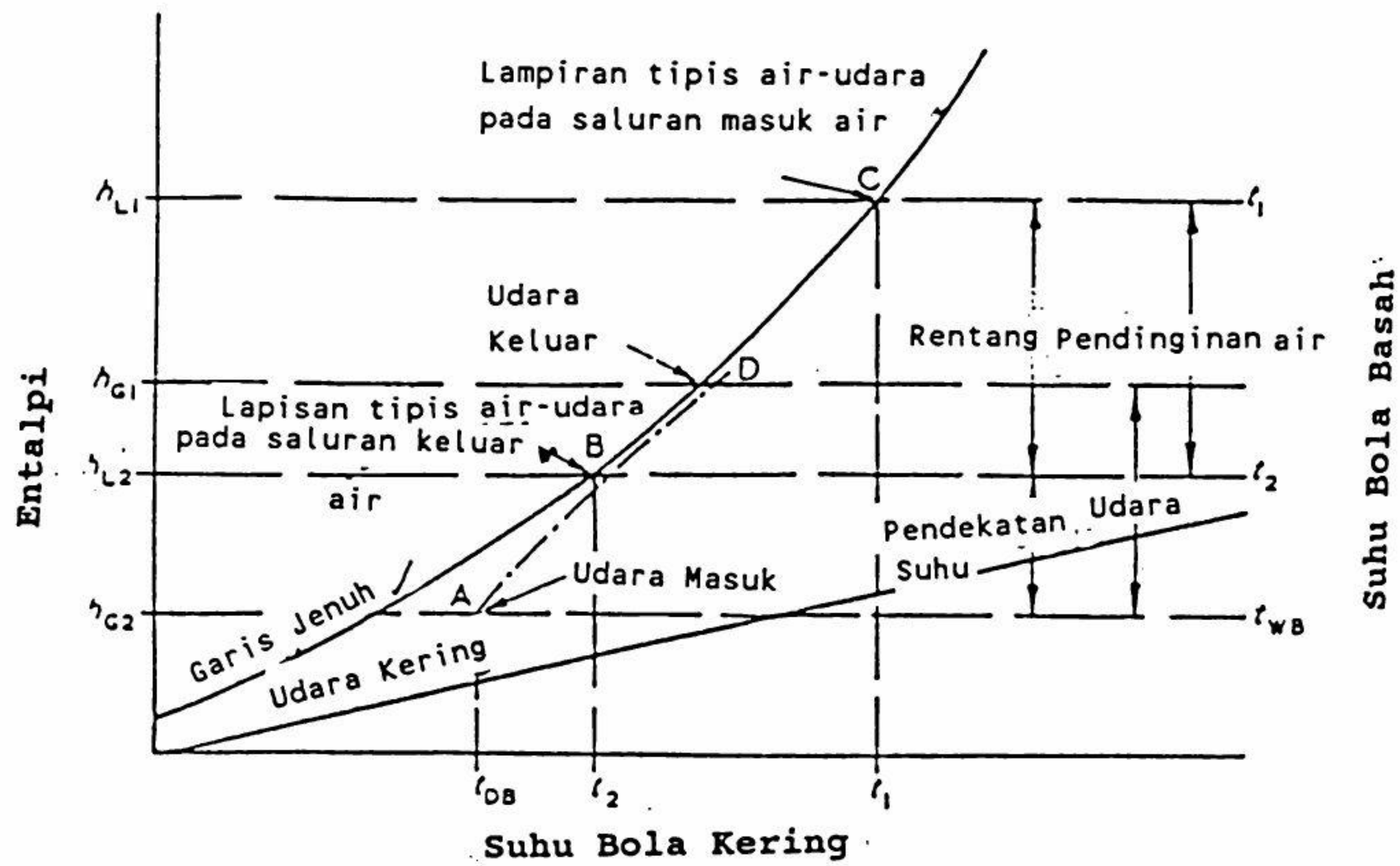




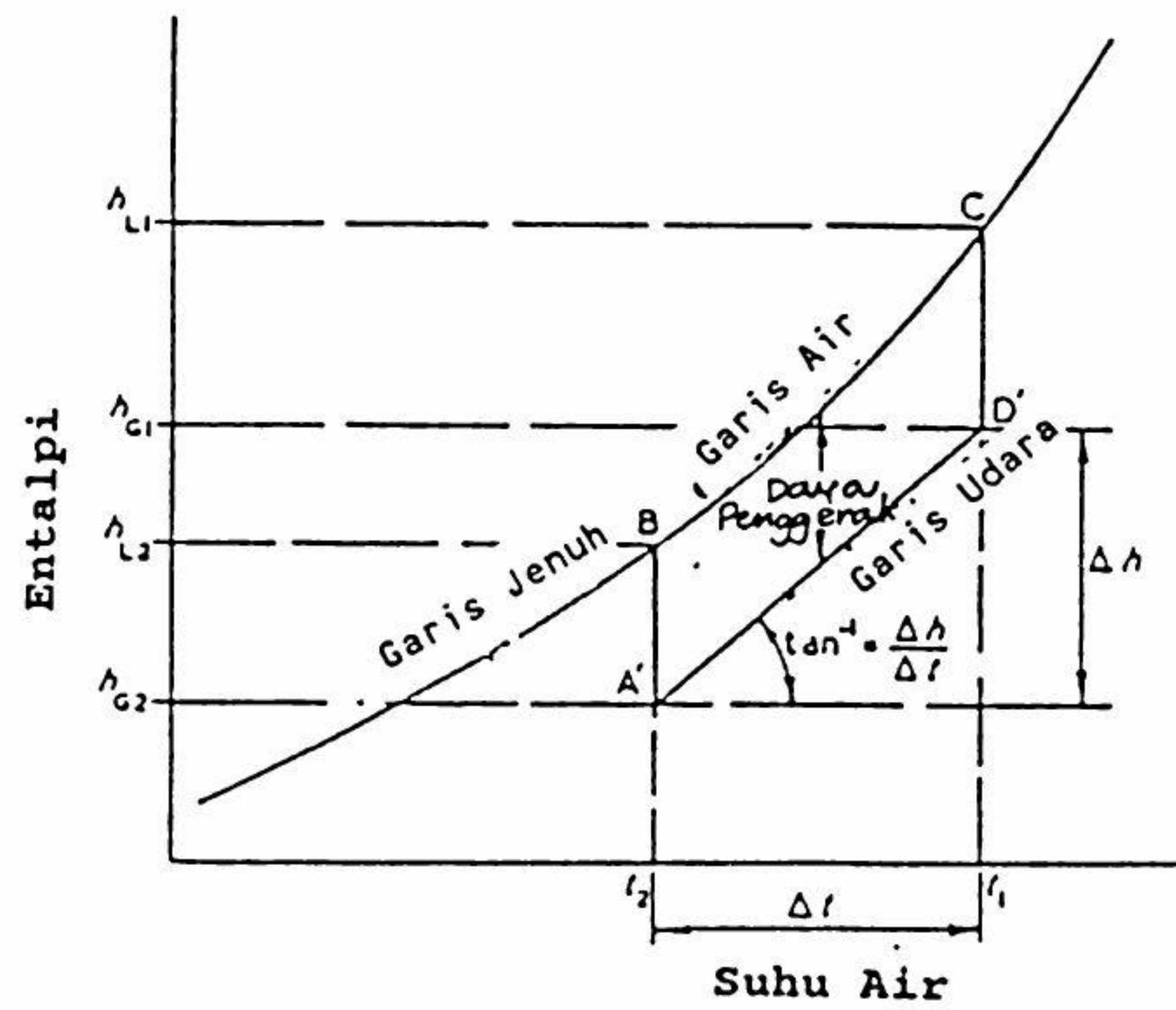
Gambar 1 - Arah Aliran Air - Udara.  
 Dalam Menara - Menara Aliran Silang,  
 Berlawanan dan Campuran







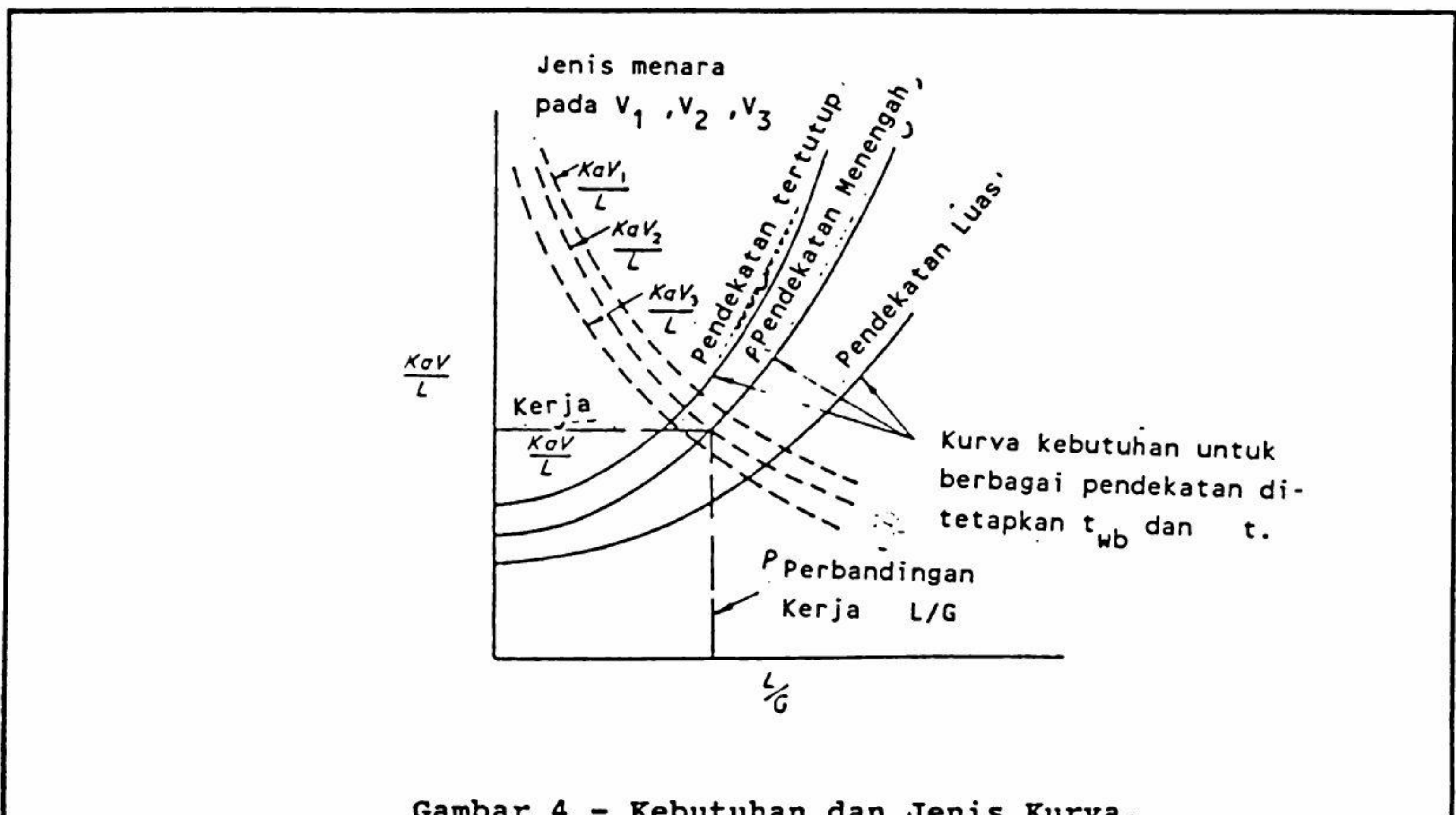
Gambar 2 - Kondisi dari air-udara dalam Menara Pendingin



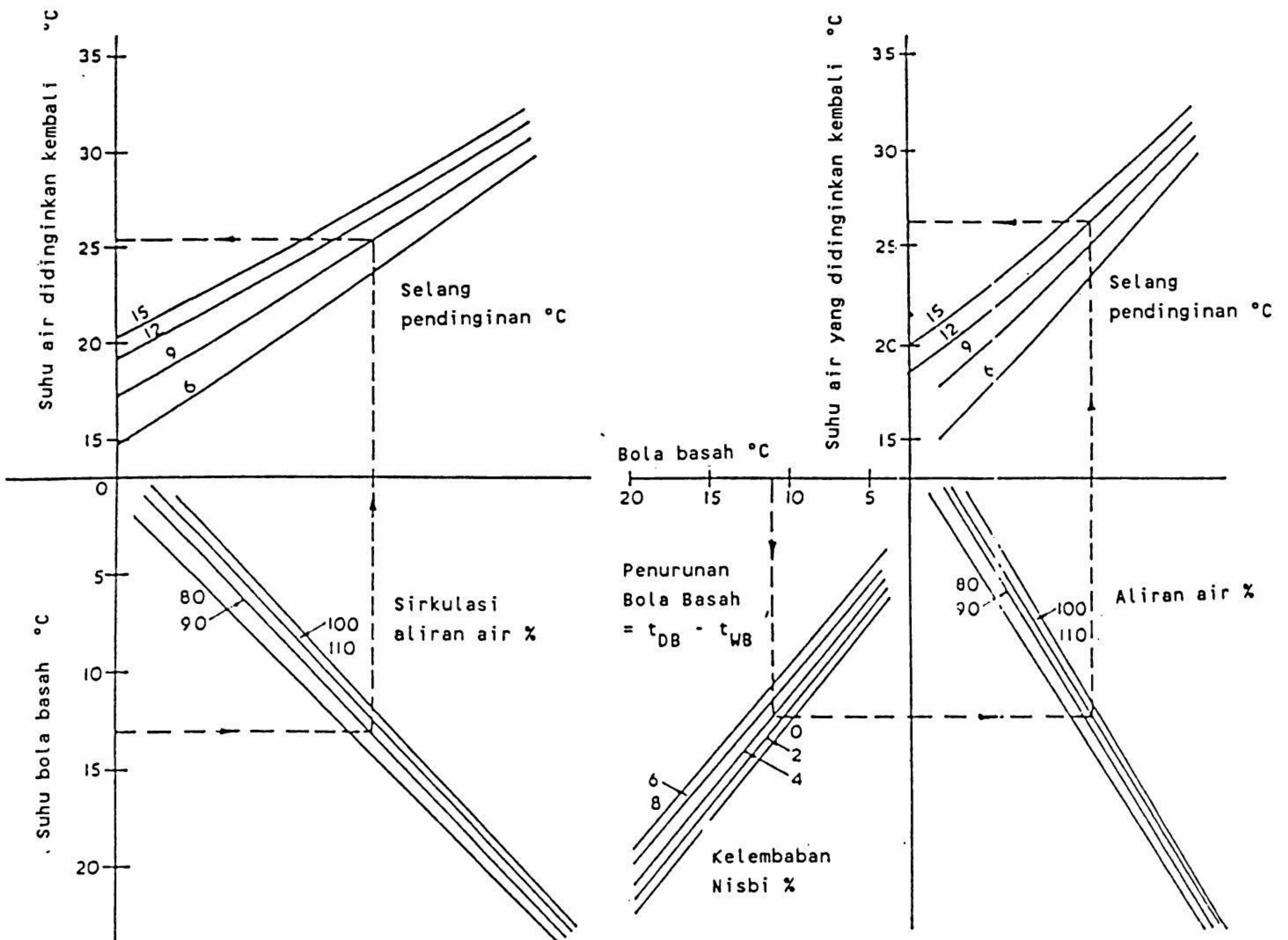
Gambar 3 - Diagram Perpindahan Panas







Gambar 4 - Kebutuhan dan Jenis Kurva.

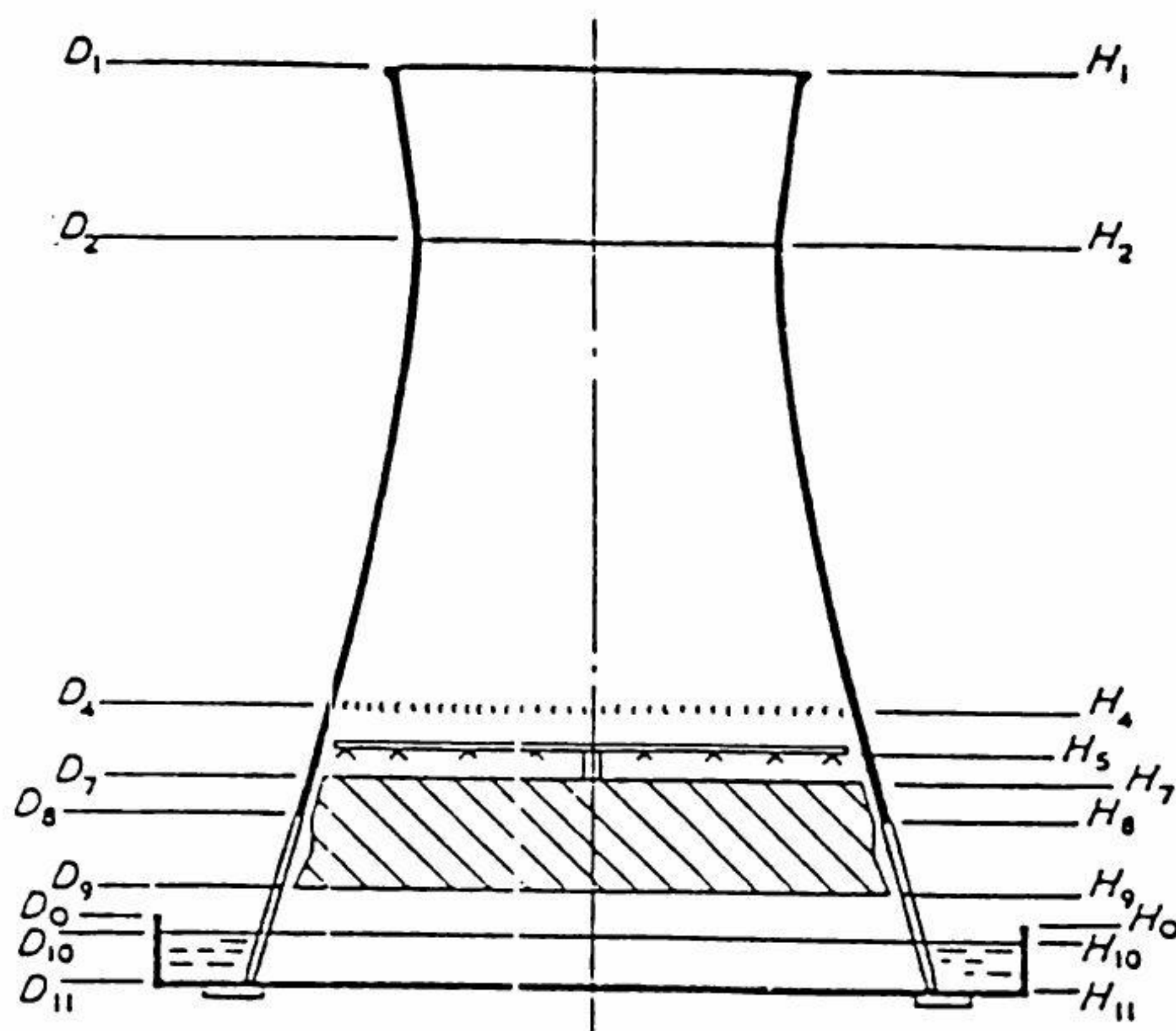


Gambar 5 - Kurva Unjuk Kerja Menara Aliran Mekanis.

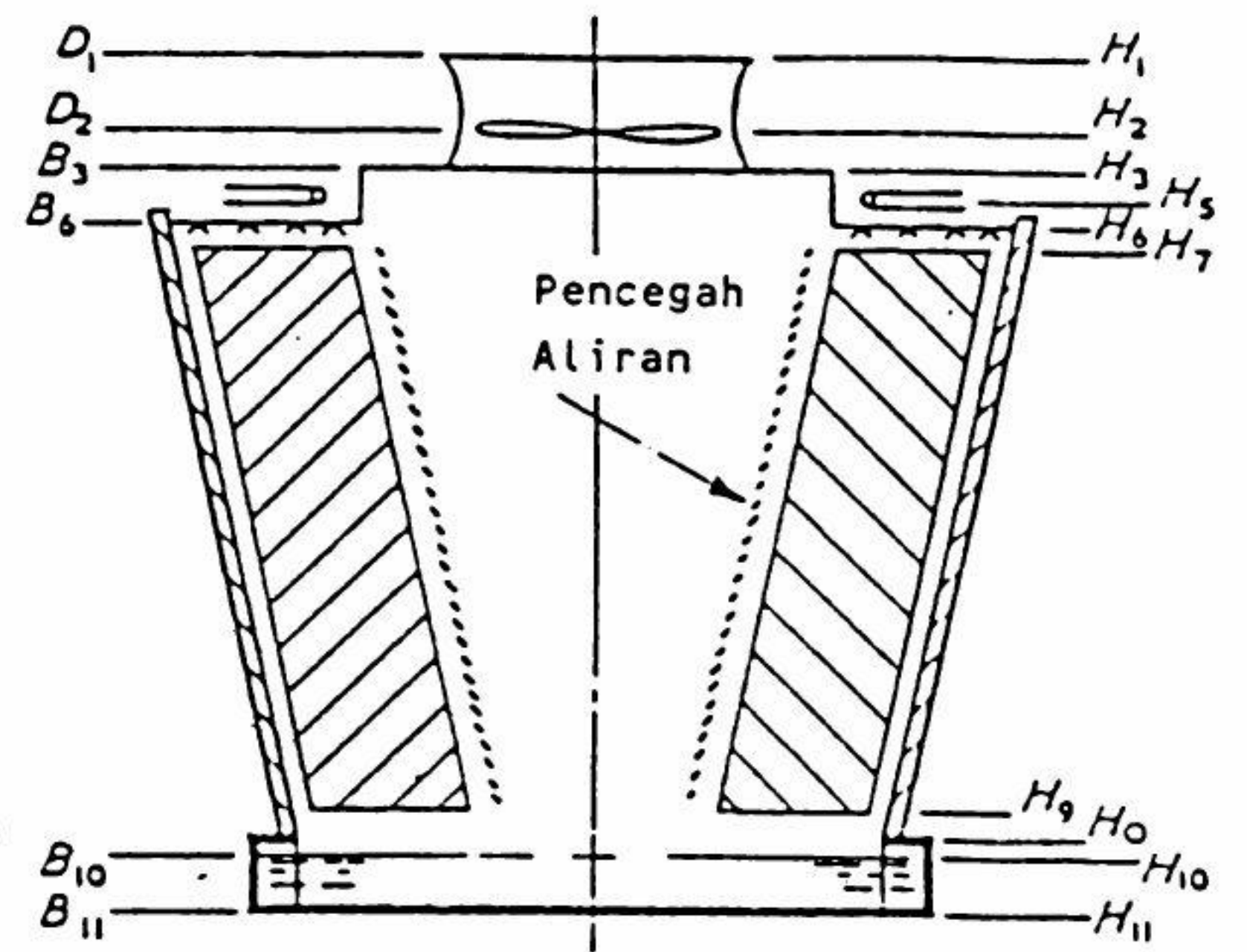
Gambar 6 - Kurva Unjuk Kerja Menara Aliran Alamiah



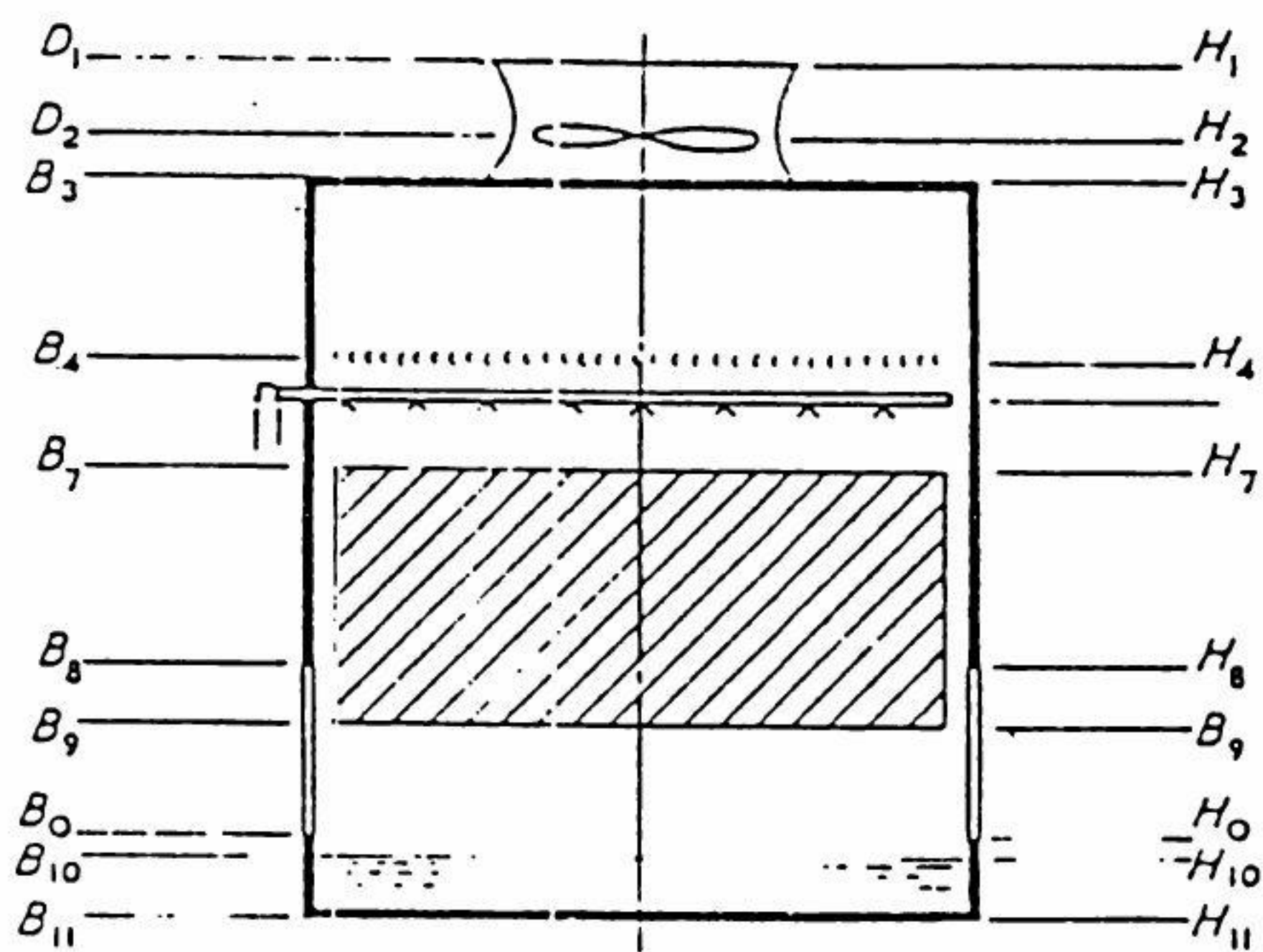




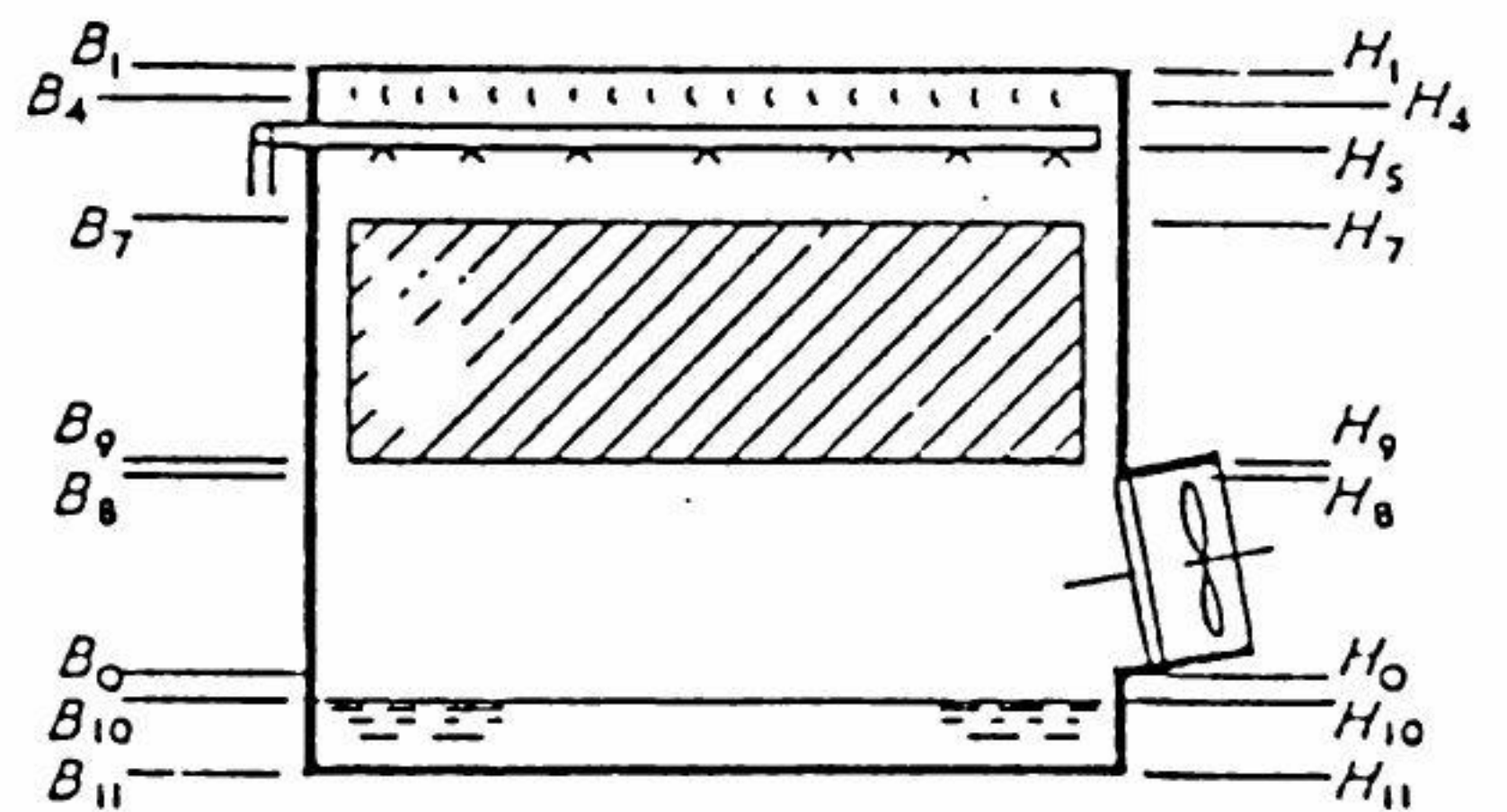
(a) Aliran Alamiah, berlawanan atau Campuran



(b) Aliran Isap Silang



(c) Aliran Isap atau Berlawanan

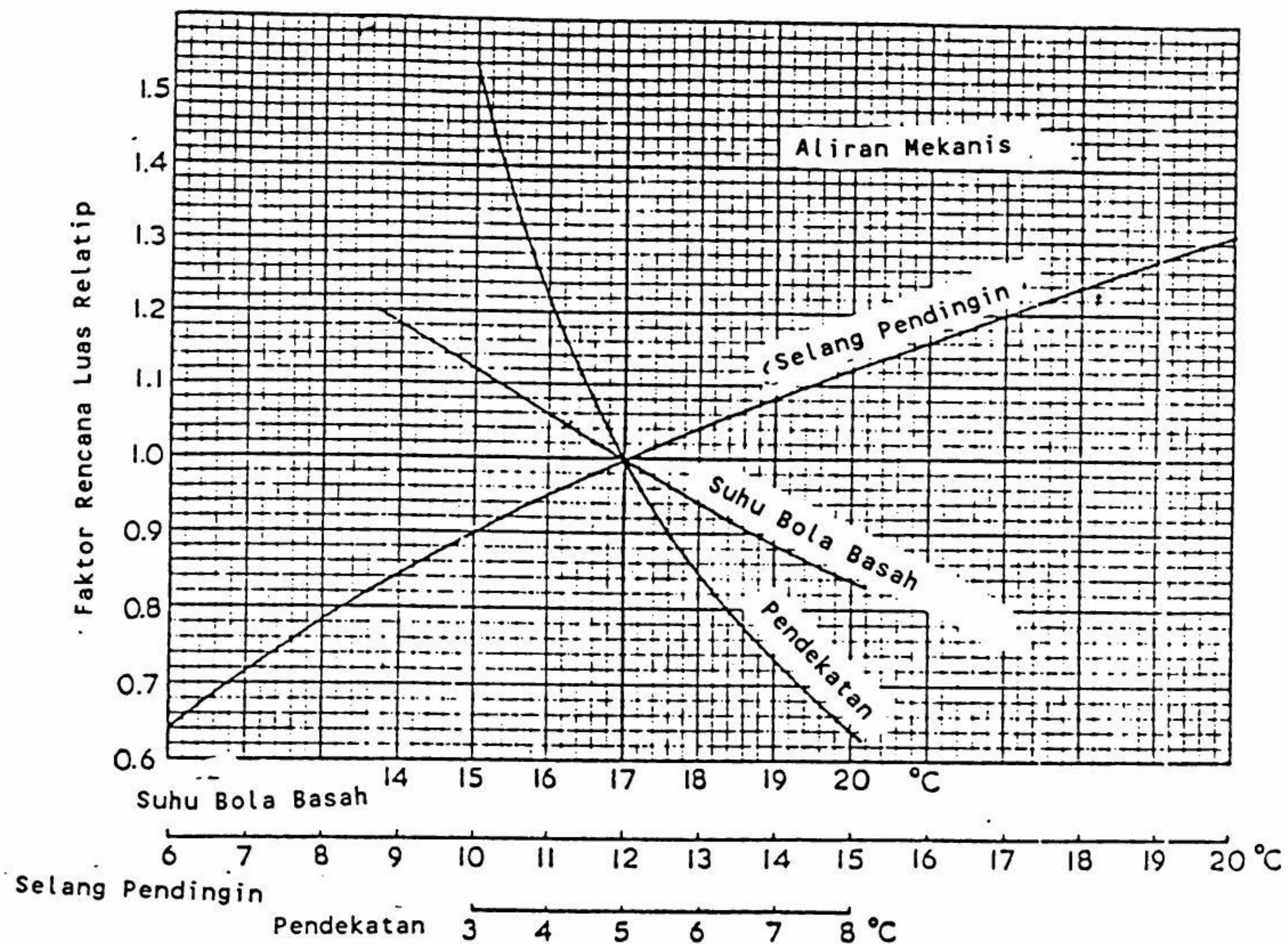


(d) Aliran Campuran atau Berlawanan

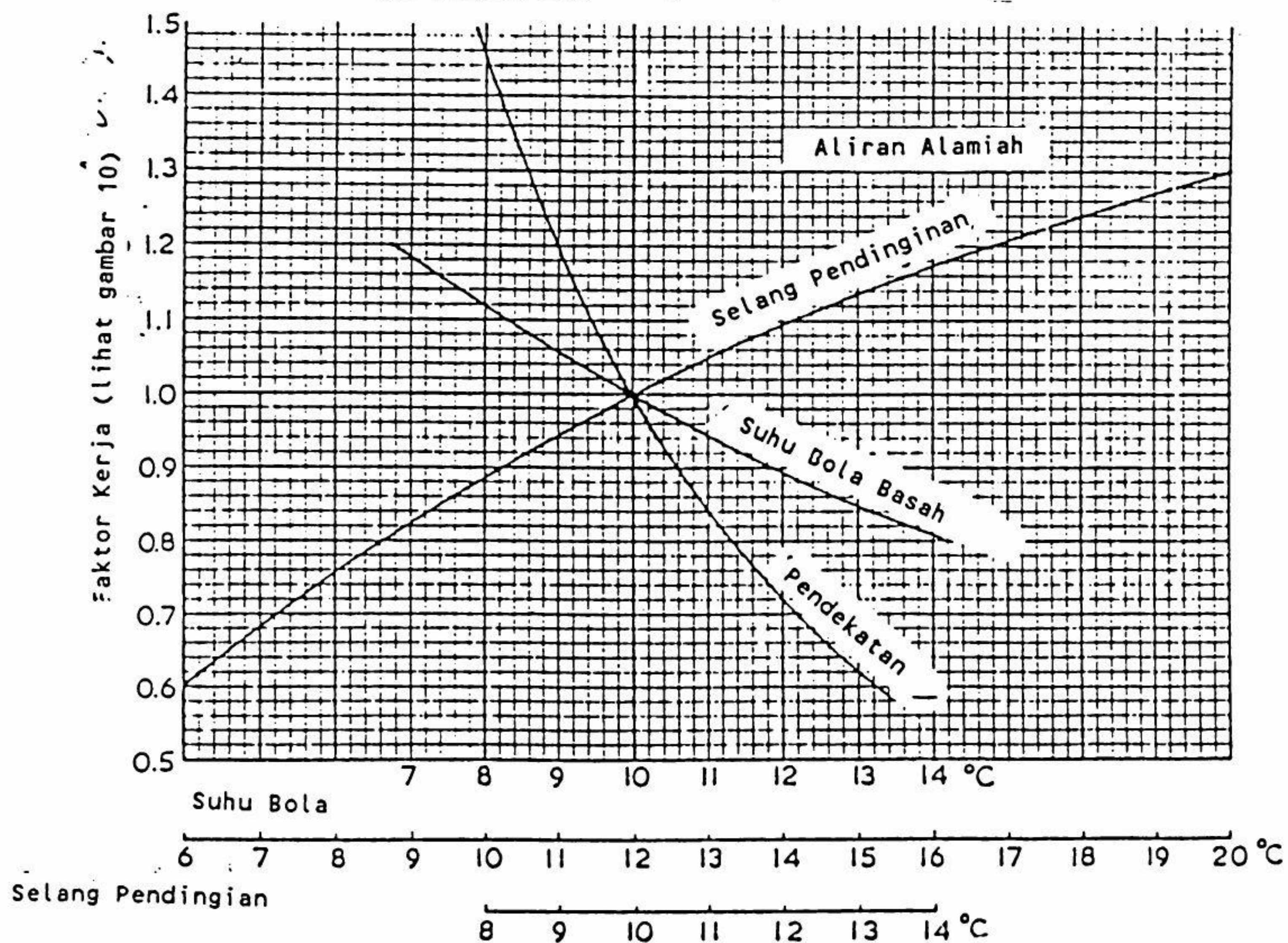
Gambar 7 - Gambaran dari jenis-jenis Dasar Menara Pendingin.







Gambar 8 - Menara Aliran Mekanis Berlawanan, akibat dari Parameter-parameter Rancangan untuk berbagai ukuran Menara.

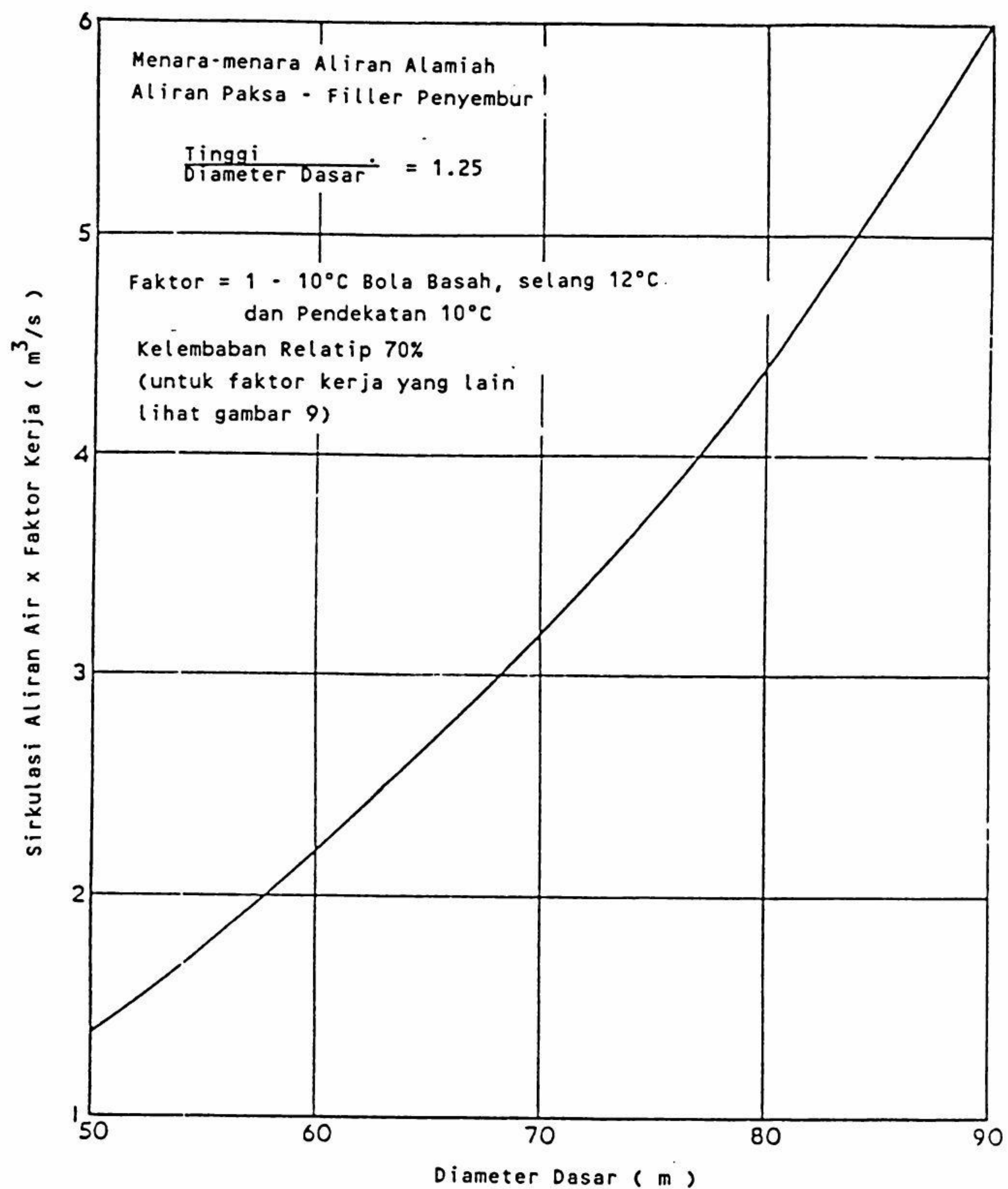


Gambar 9 - Menara Aliran Alamiah. Berbagai faktor kerja dengan suhu Bola Basah, Selang Pendinginan dan Pendekatan (pada kelembaban 70%)





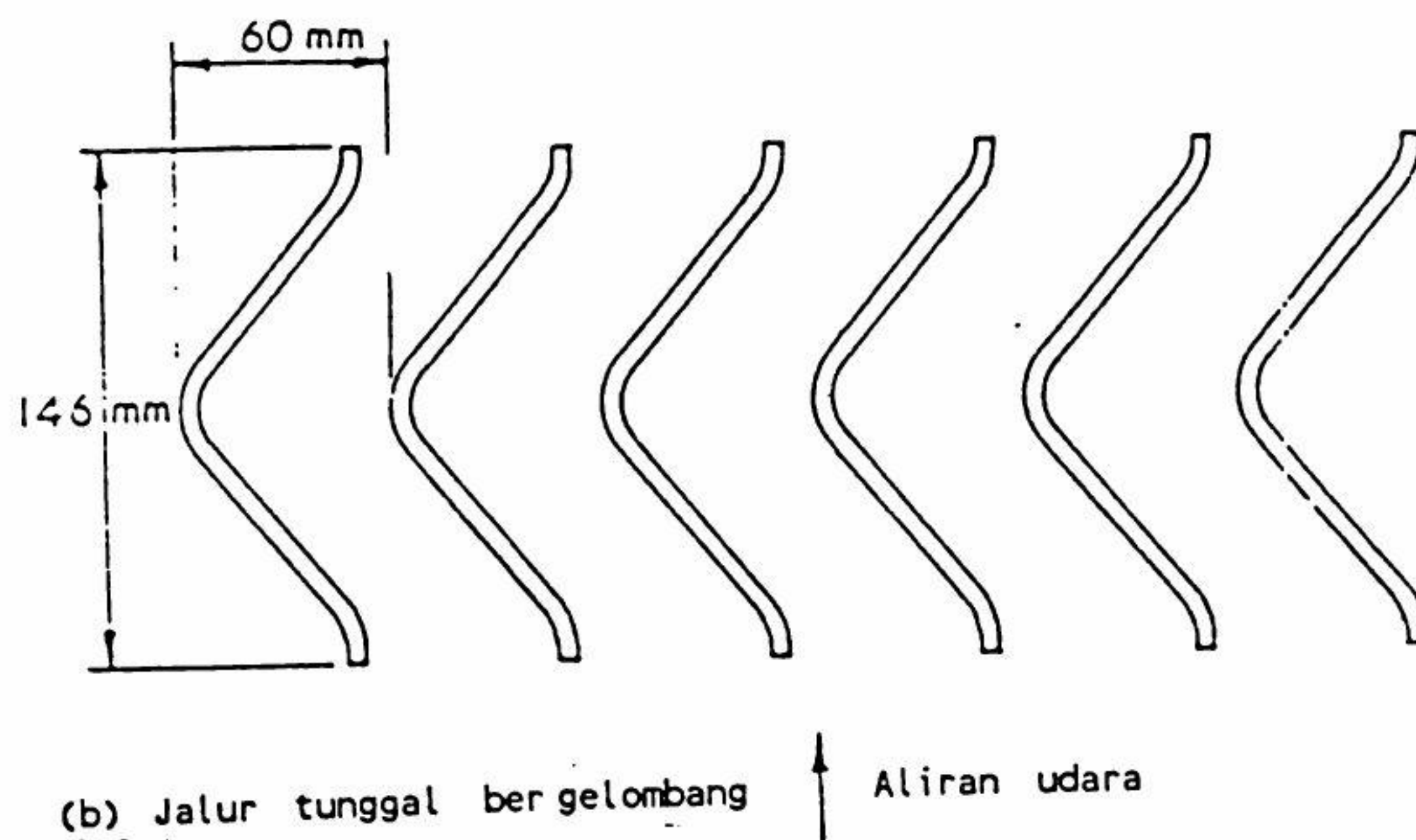
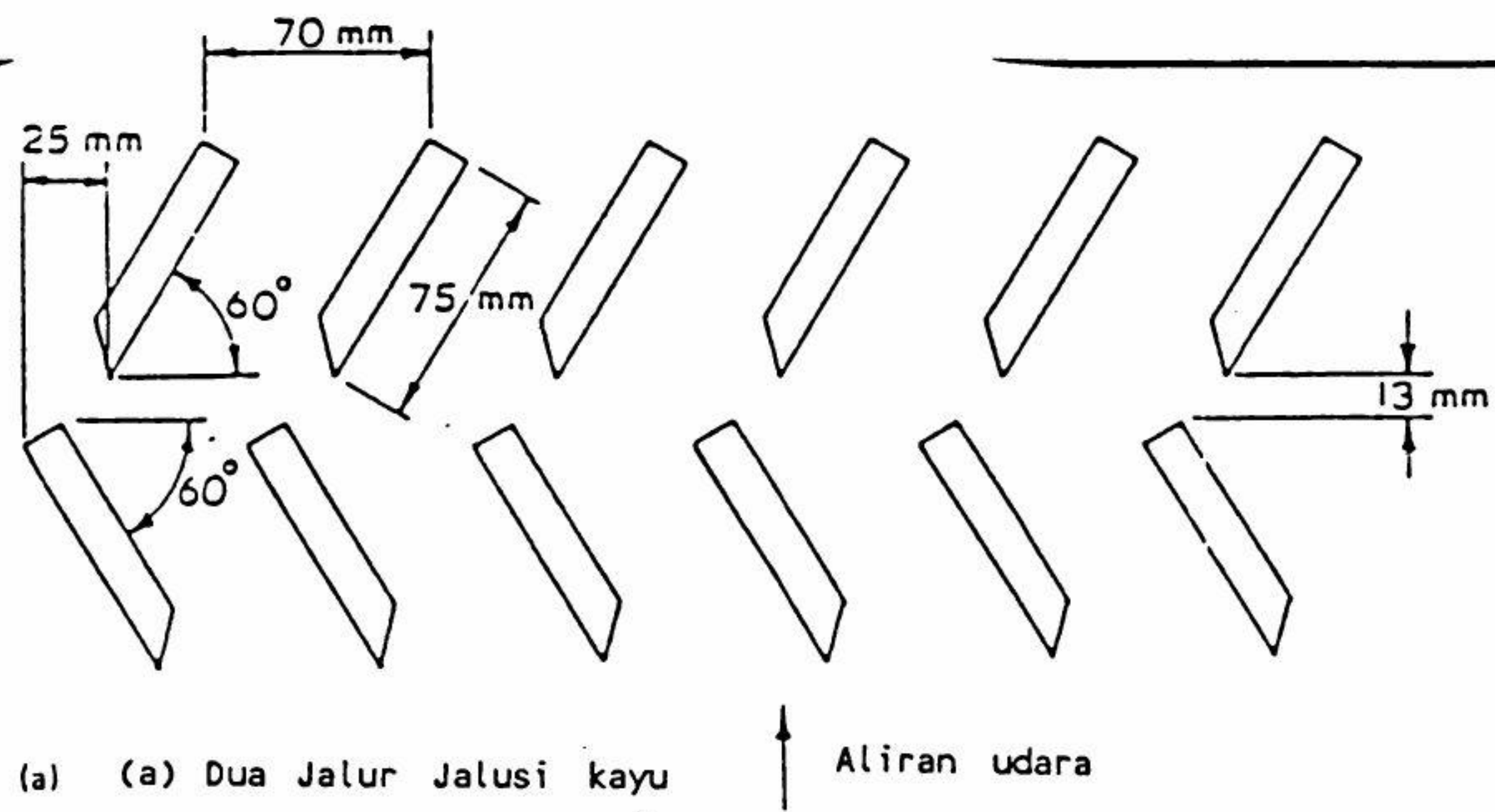




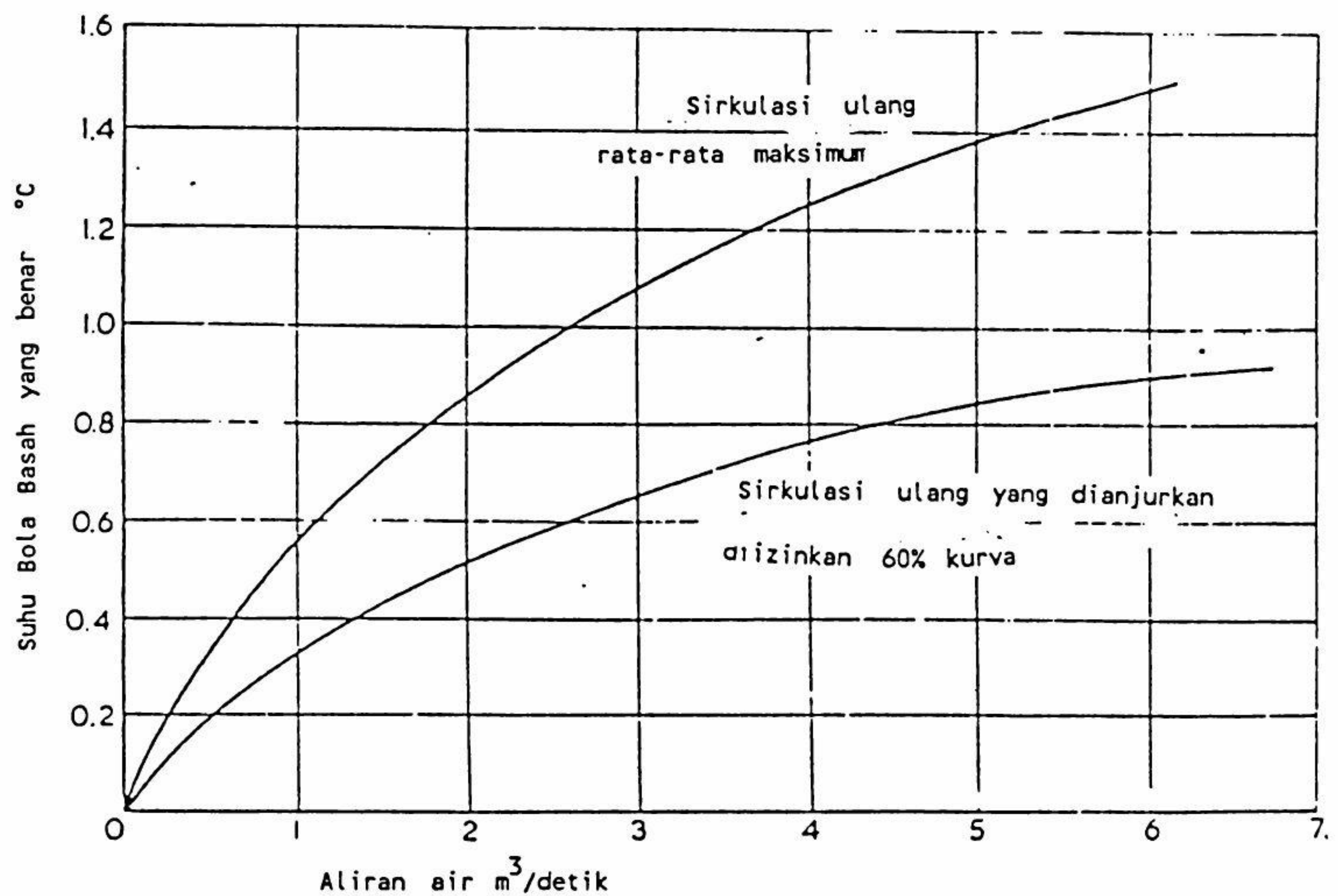
Gambar 10 - Menara Aliran Alamiah, Variasi dari Diameter Dasar dengan sirkulasi Aliran air yang benar untuk faktor kerja.







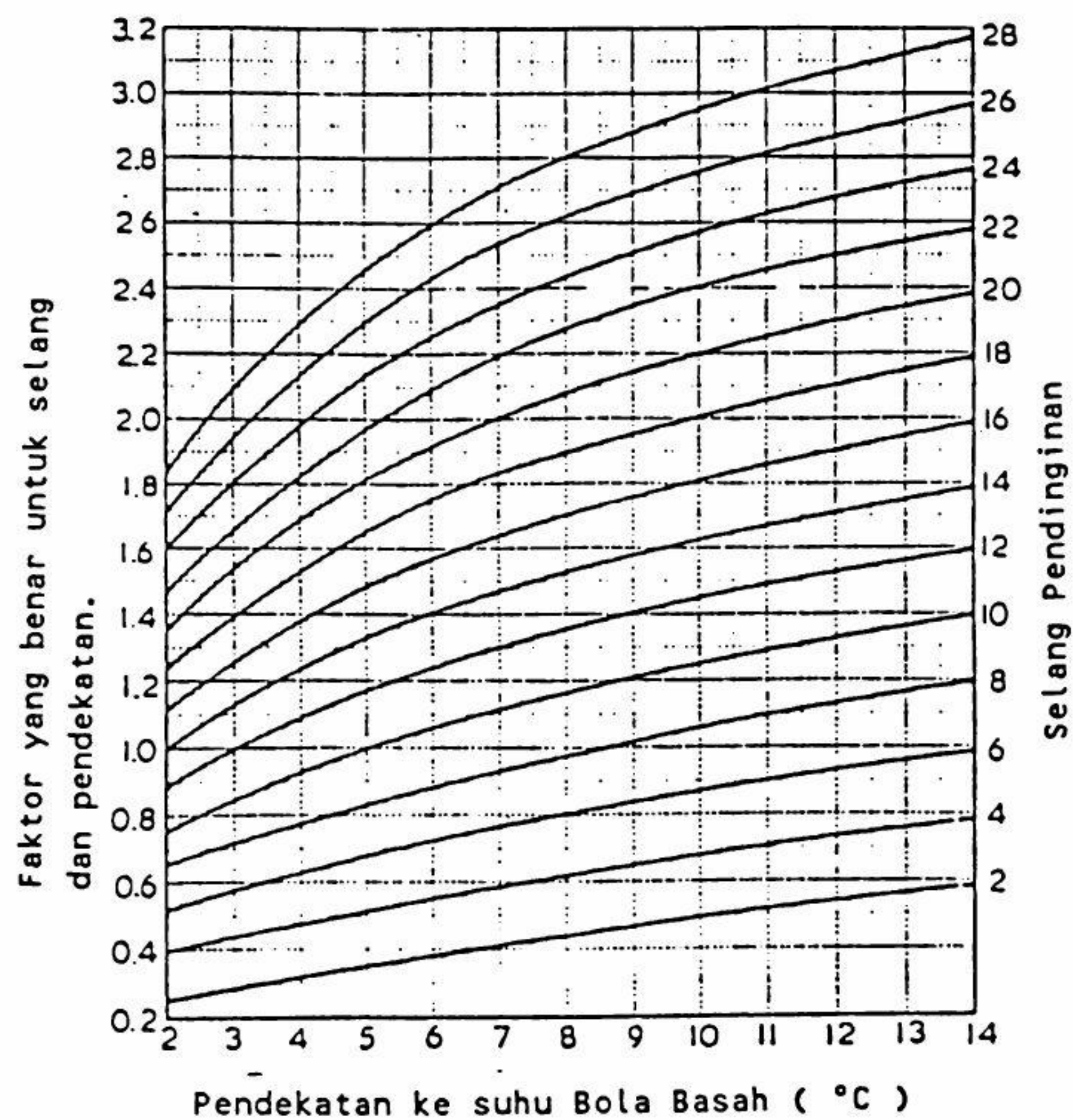
Gambar 11 - Pencegah Aliran



Gambar 12 - Sirkulasi Ulang Dasar yang diizinkan.

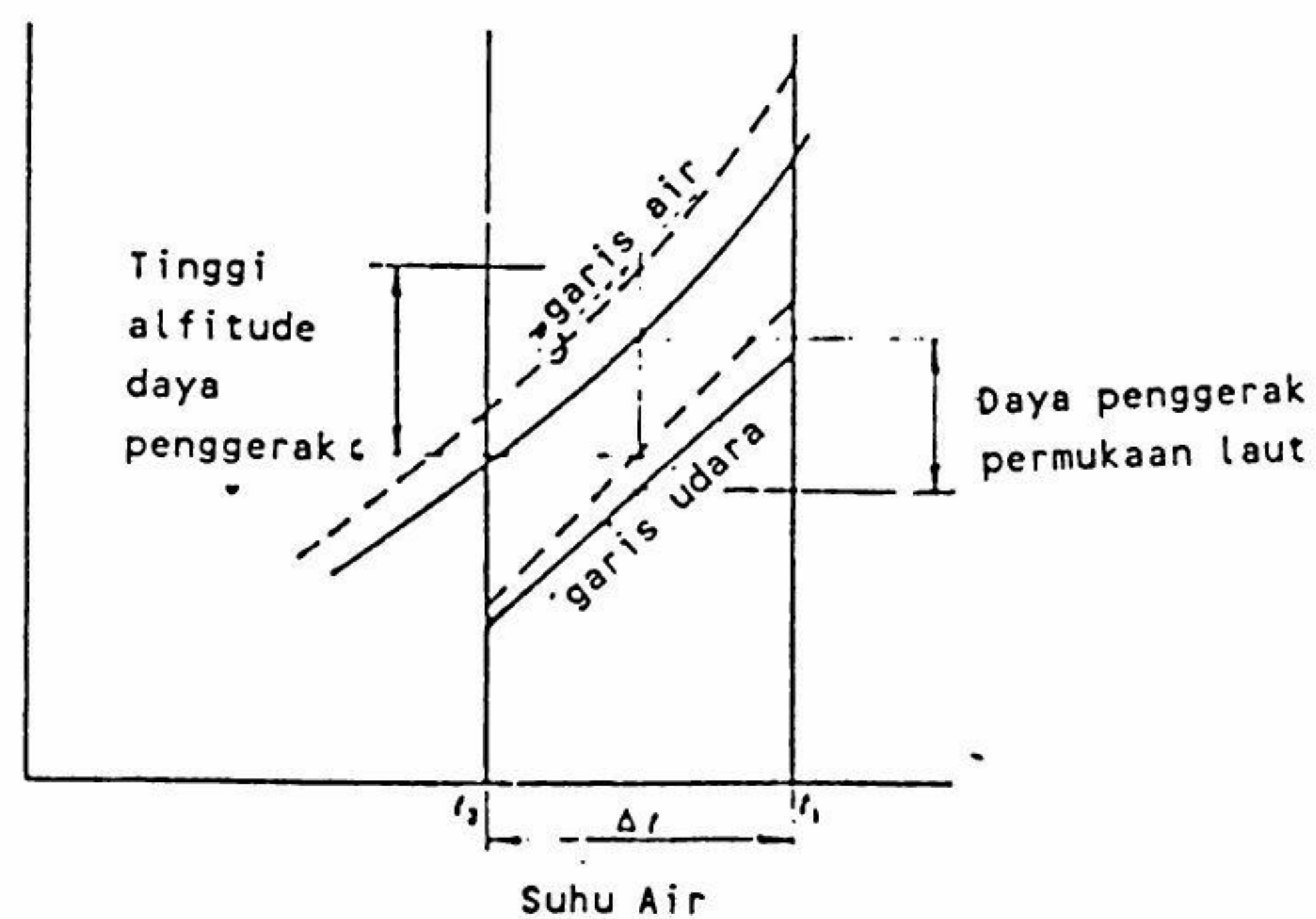






**Gambar 13 - Selang Pendinginan yang benar dan Pendekatan 17°C Suhu Bola Basah.**

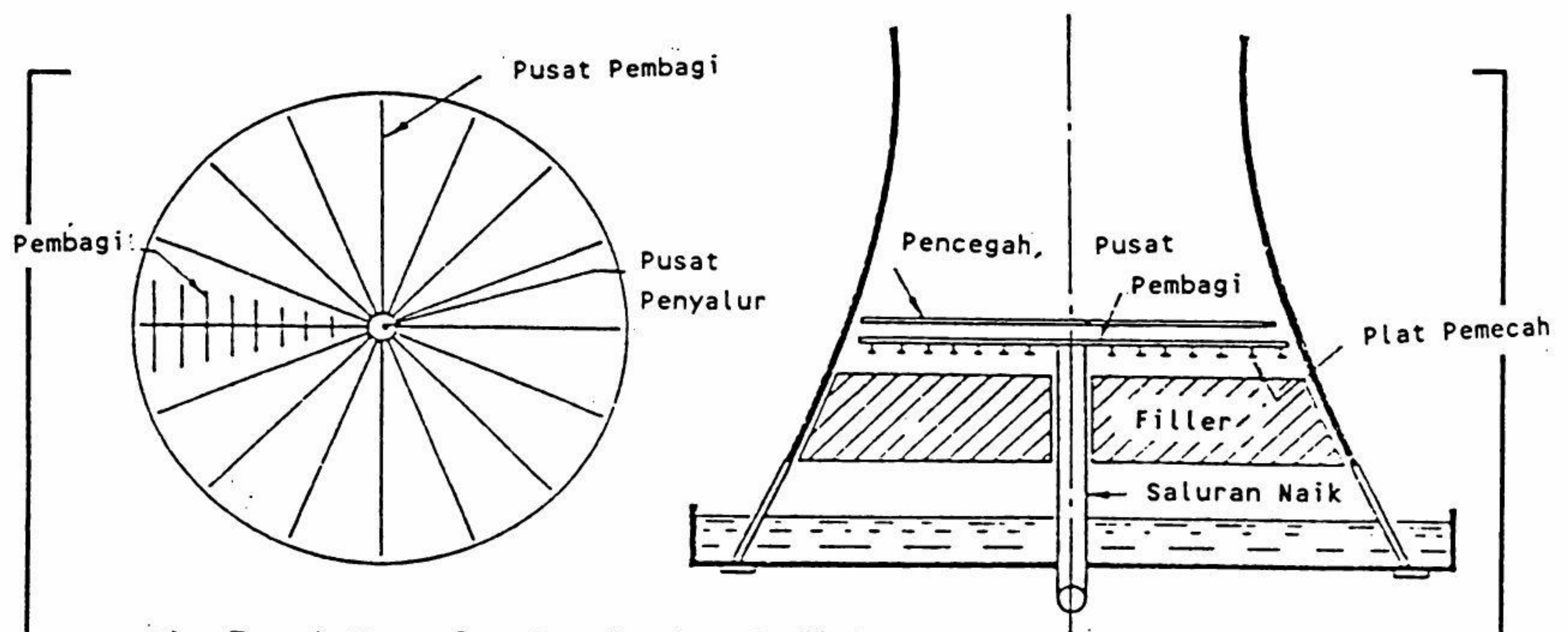
*Catatan : Untuk suhu bola basah yang lain sirkulasi ulang yang diizinkan harus ditambah 4% untuk tiap pengurangan °C dalam suhu bola basah atau sebaliknya.*



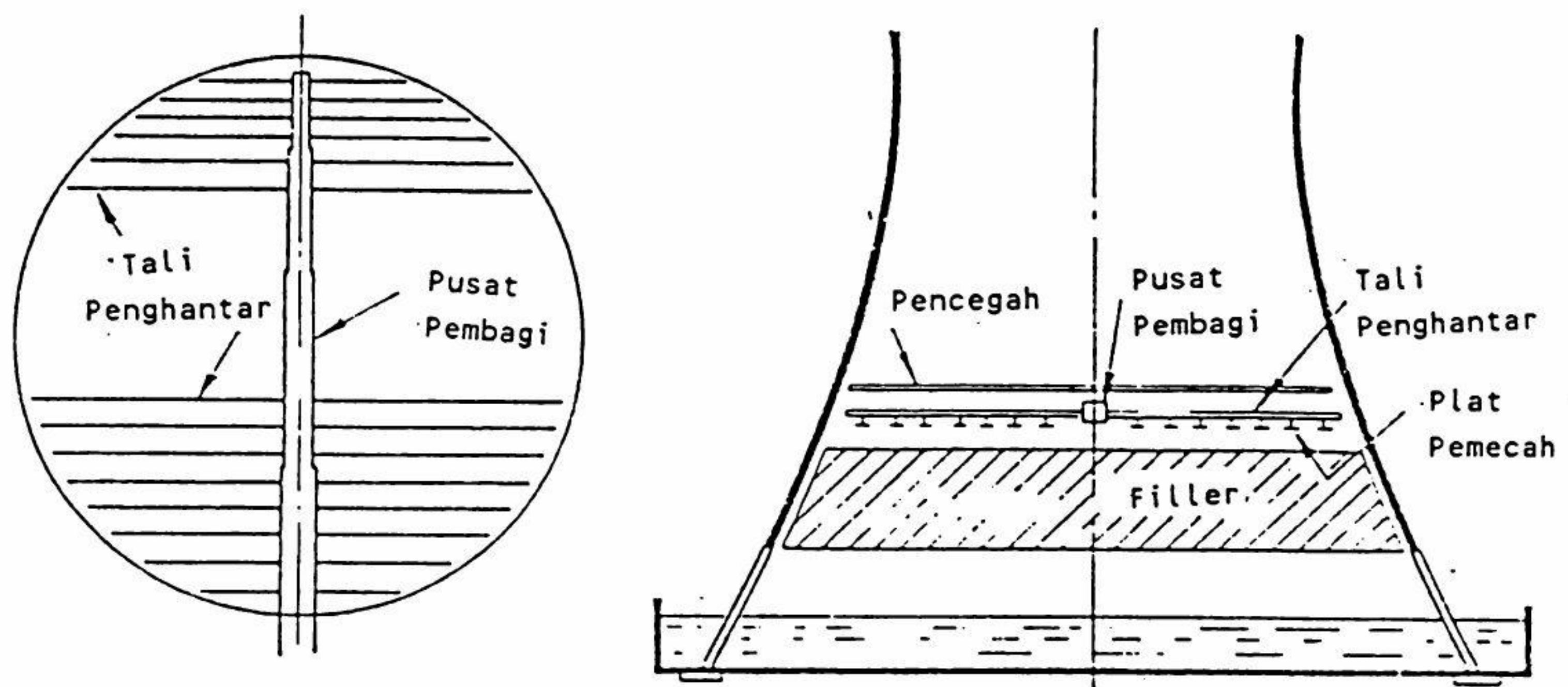
**Gambar 14 - Hasil alfitude pada diagram perpindahan panas.**



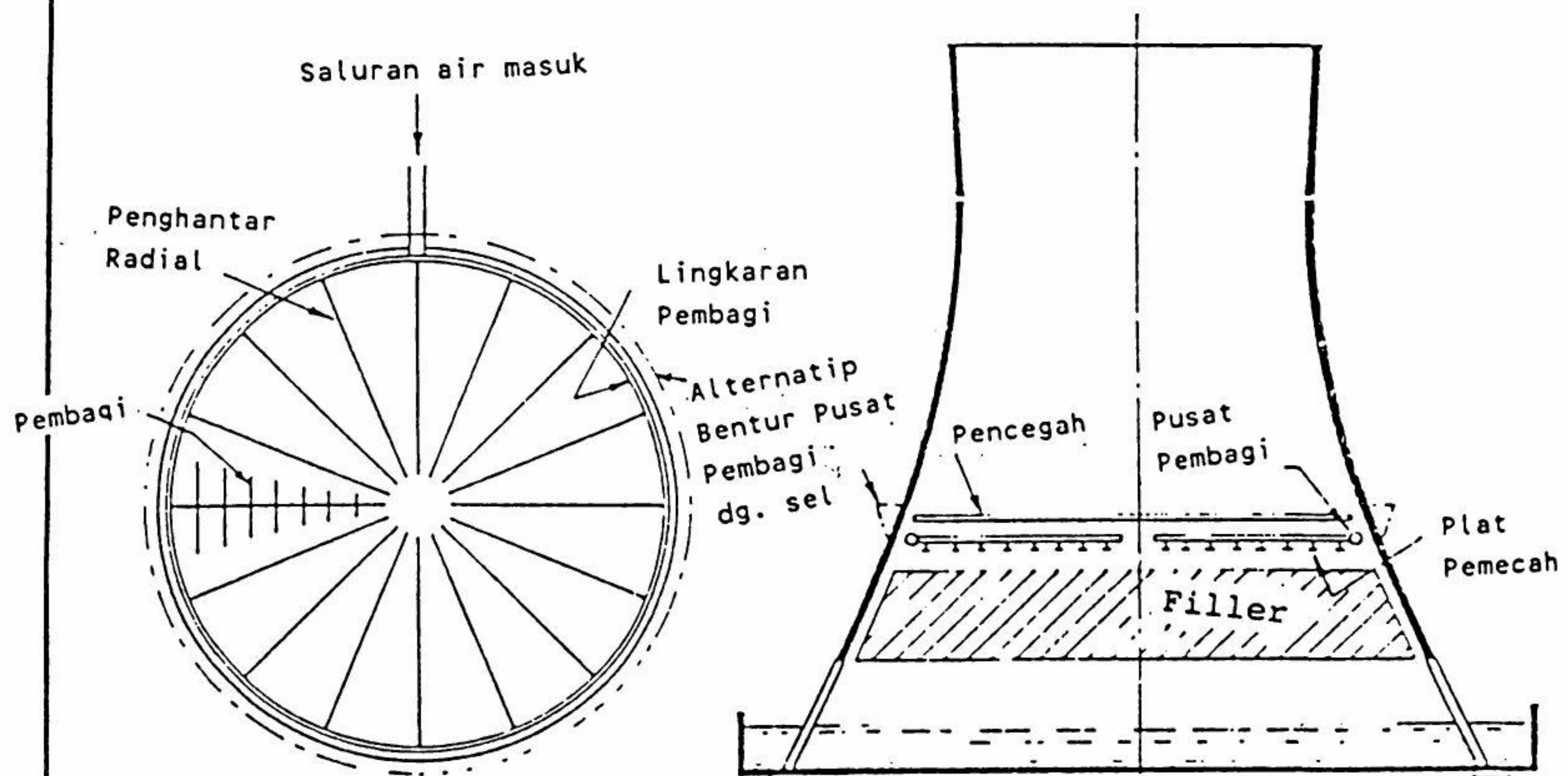




a). Pusat Penyalur Penghantar Radial



b) Pusat Pembagi Diametris, Tali Penghantar

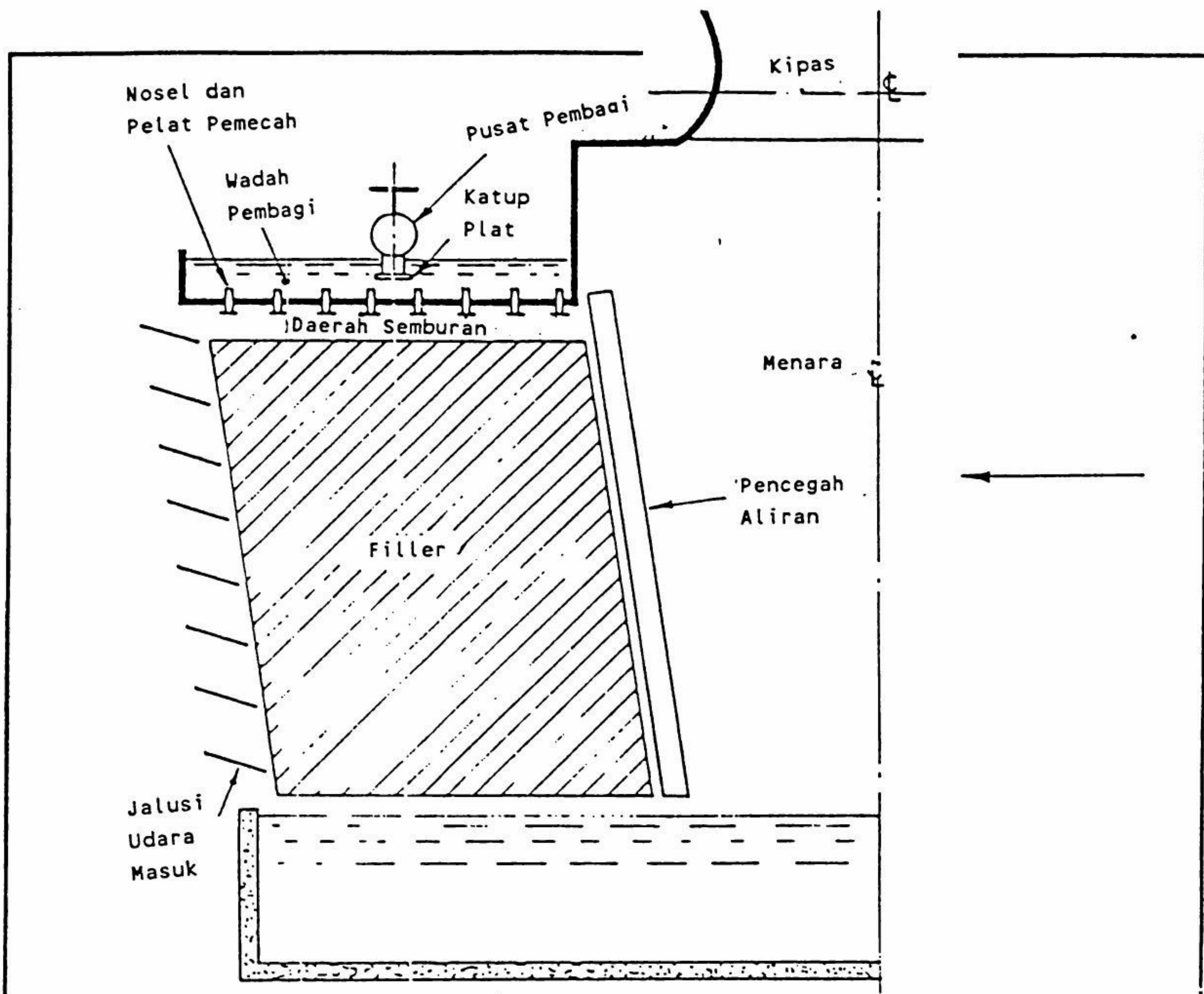


c) Pusat Pembagi Lingkaran, Penghantar Radial.

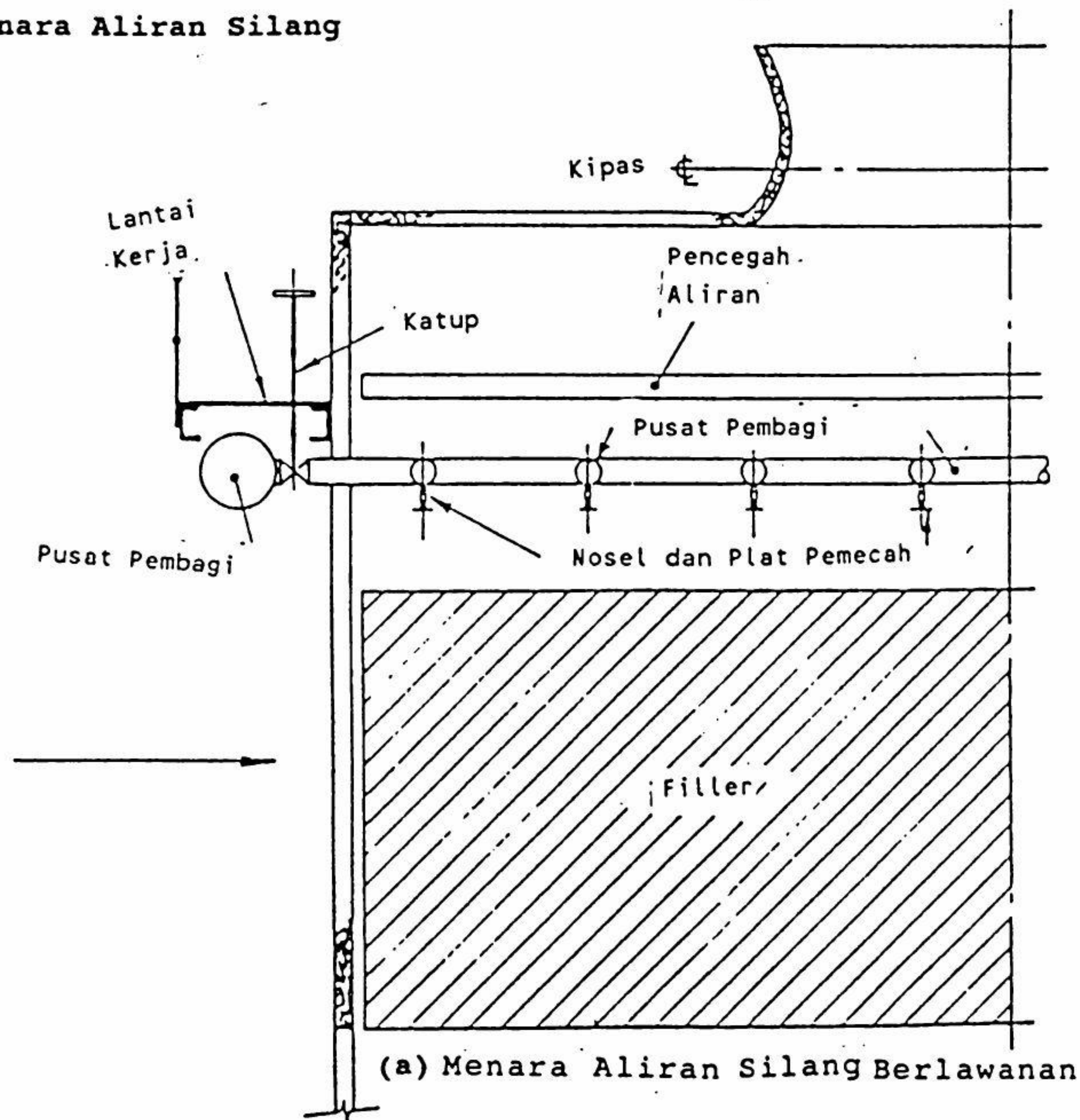
Gambar 15 - Menara Aliran Alamiah Distribusi Air.







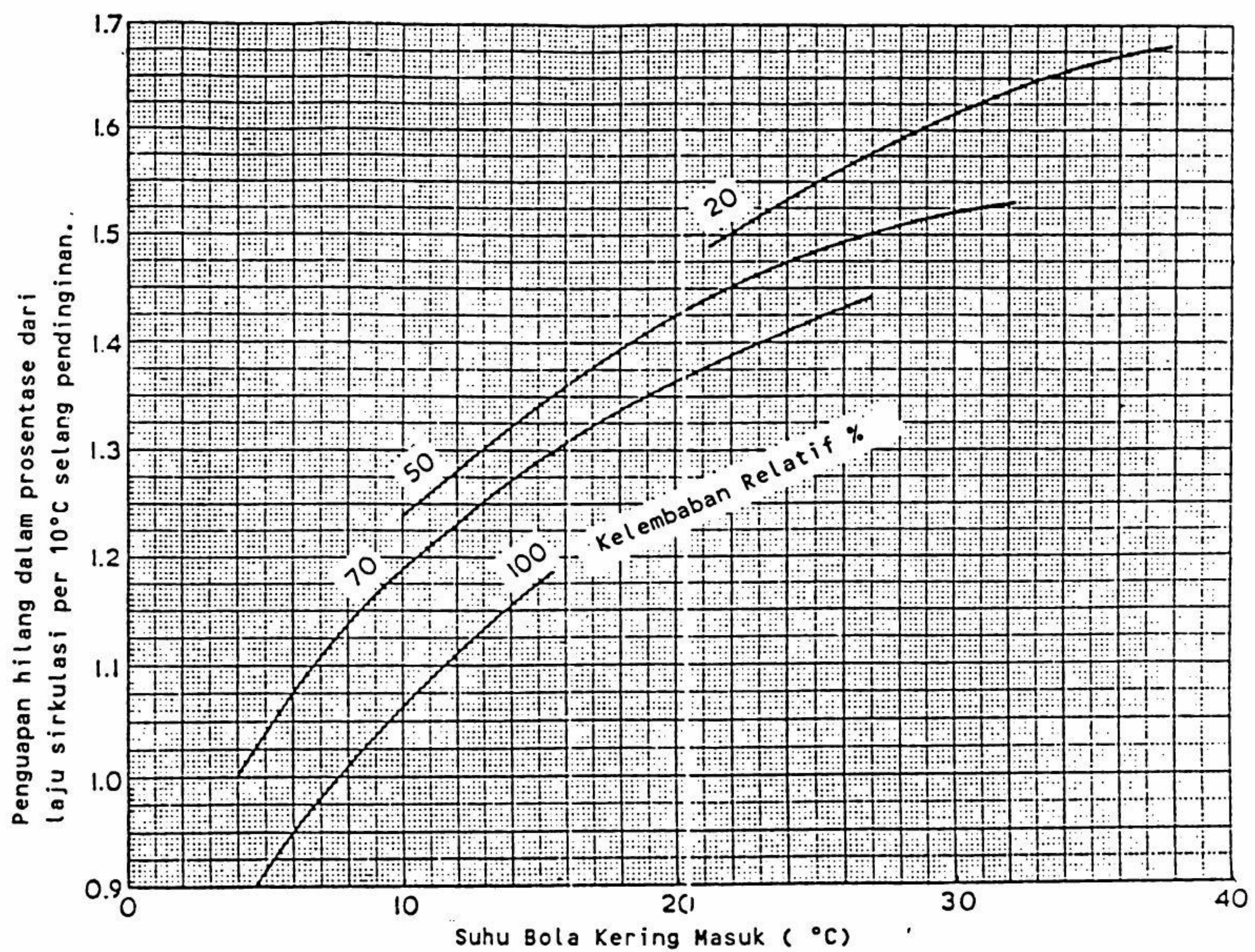
(a) Menara Aliran Silang



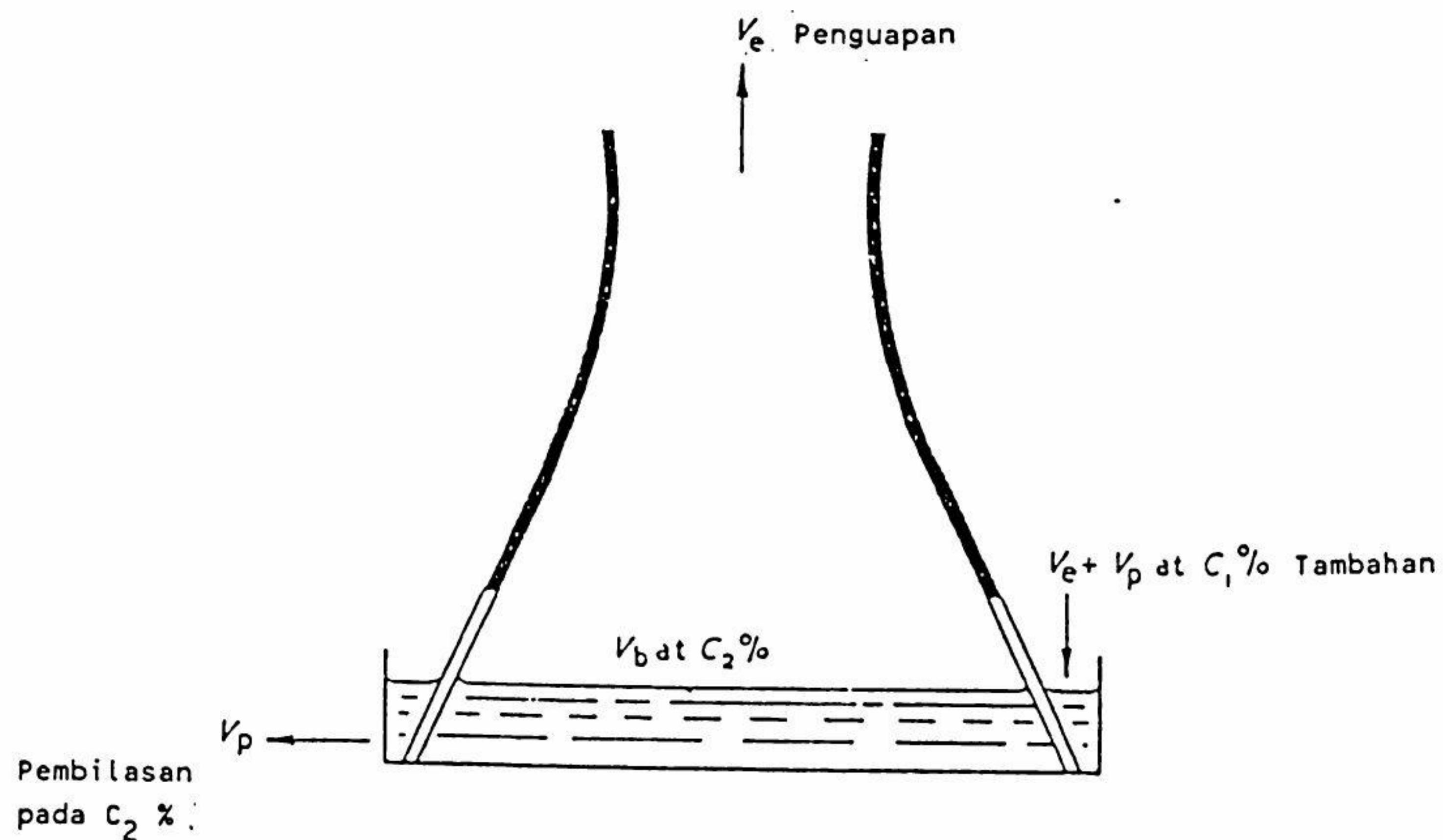
(a) Menara Aliran Silang Berlawanan







Gambar 17 - Variasi penguapan hilang dengan kondisi sekeliling.

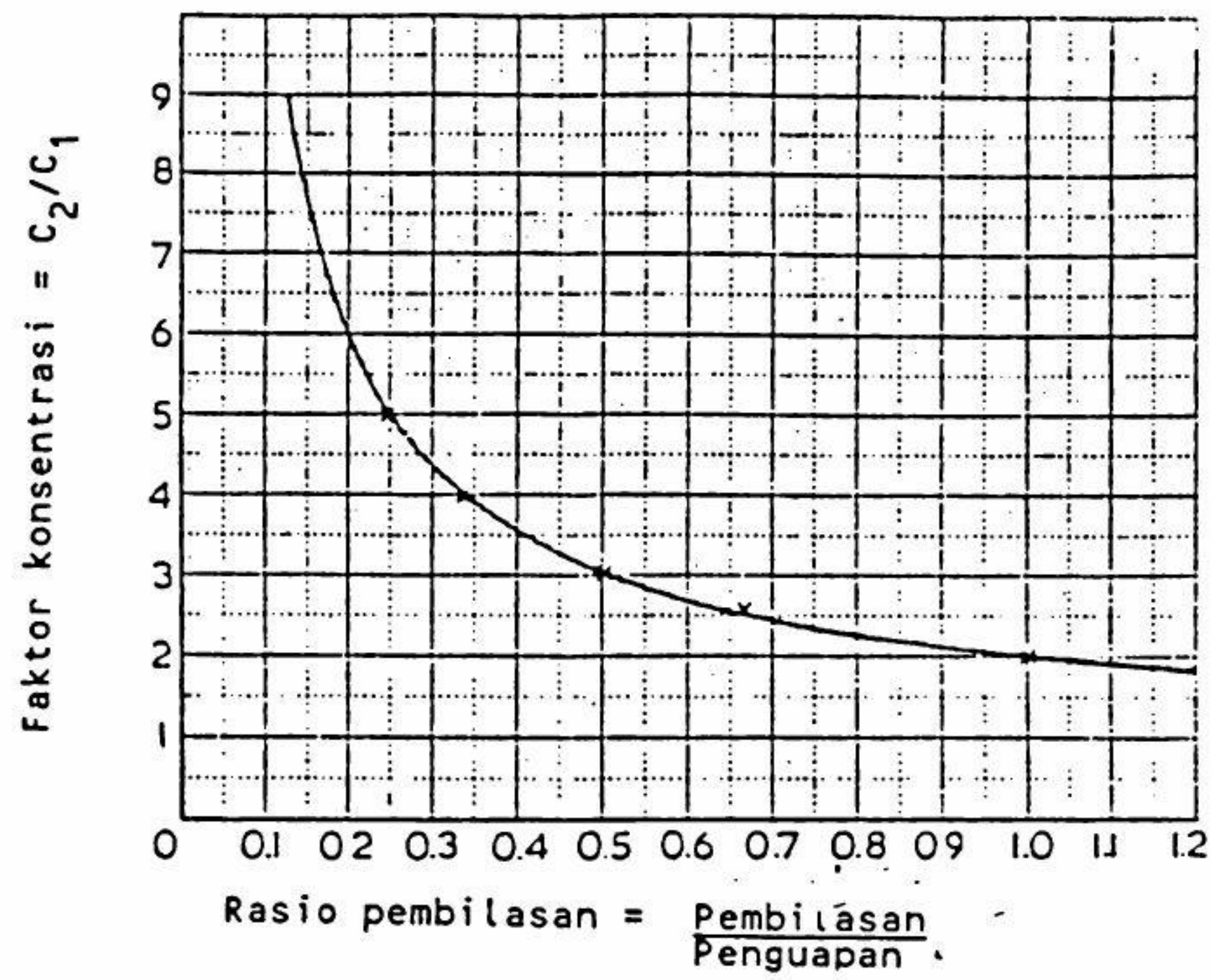


Gambar 18 - Pembilasan, Tambahan dan keseimbangan jumlah penguapan.

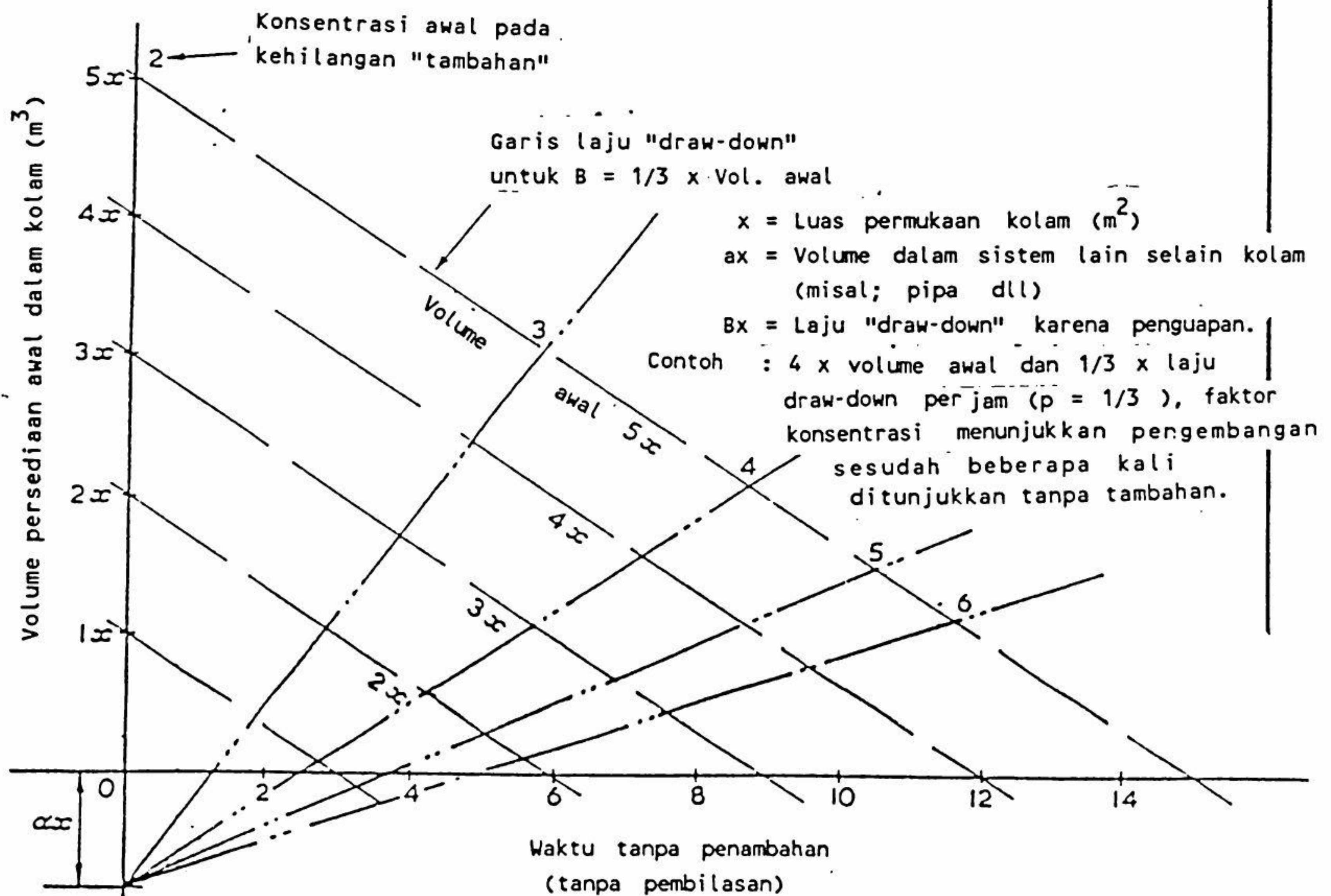








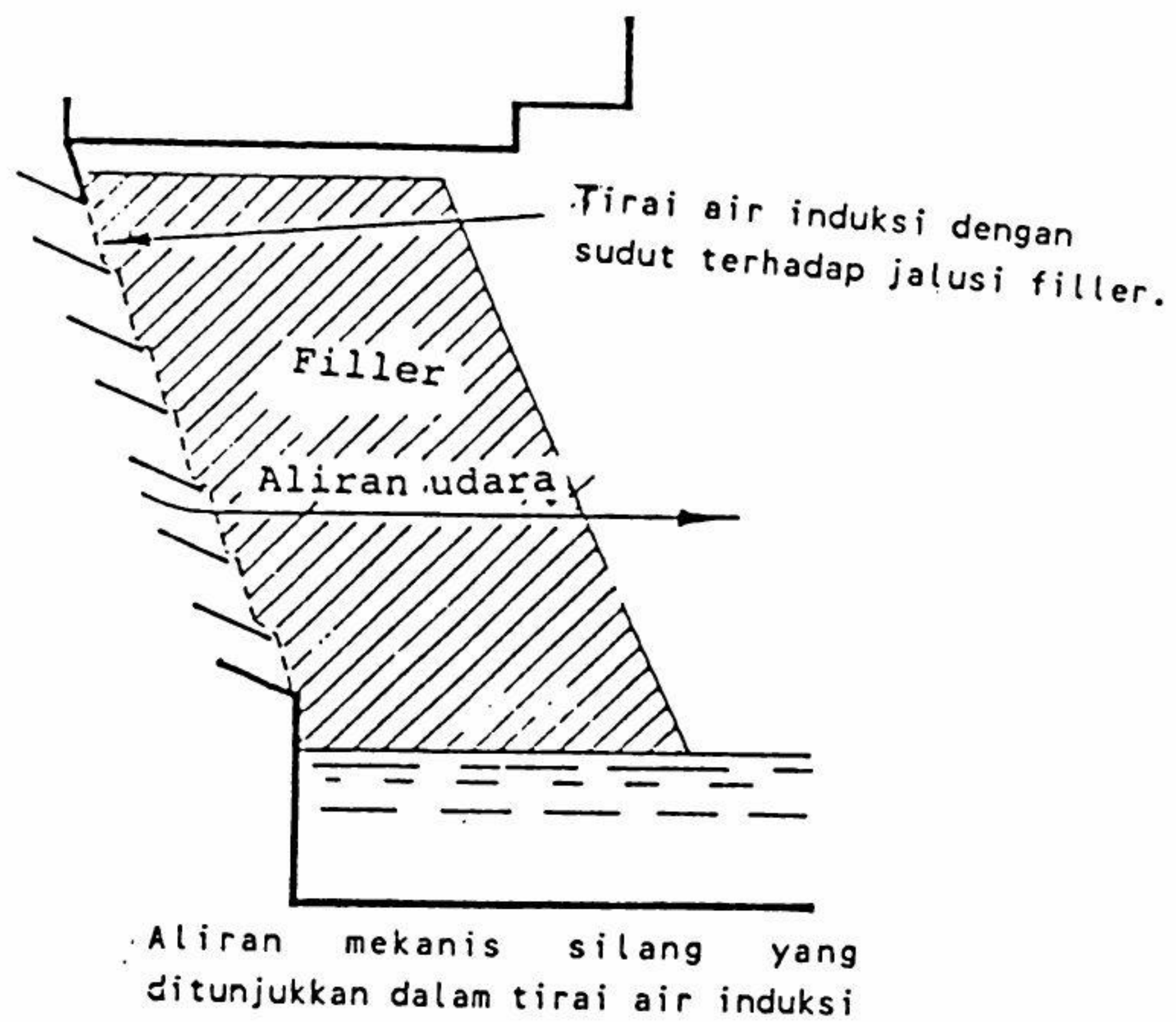
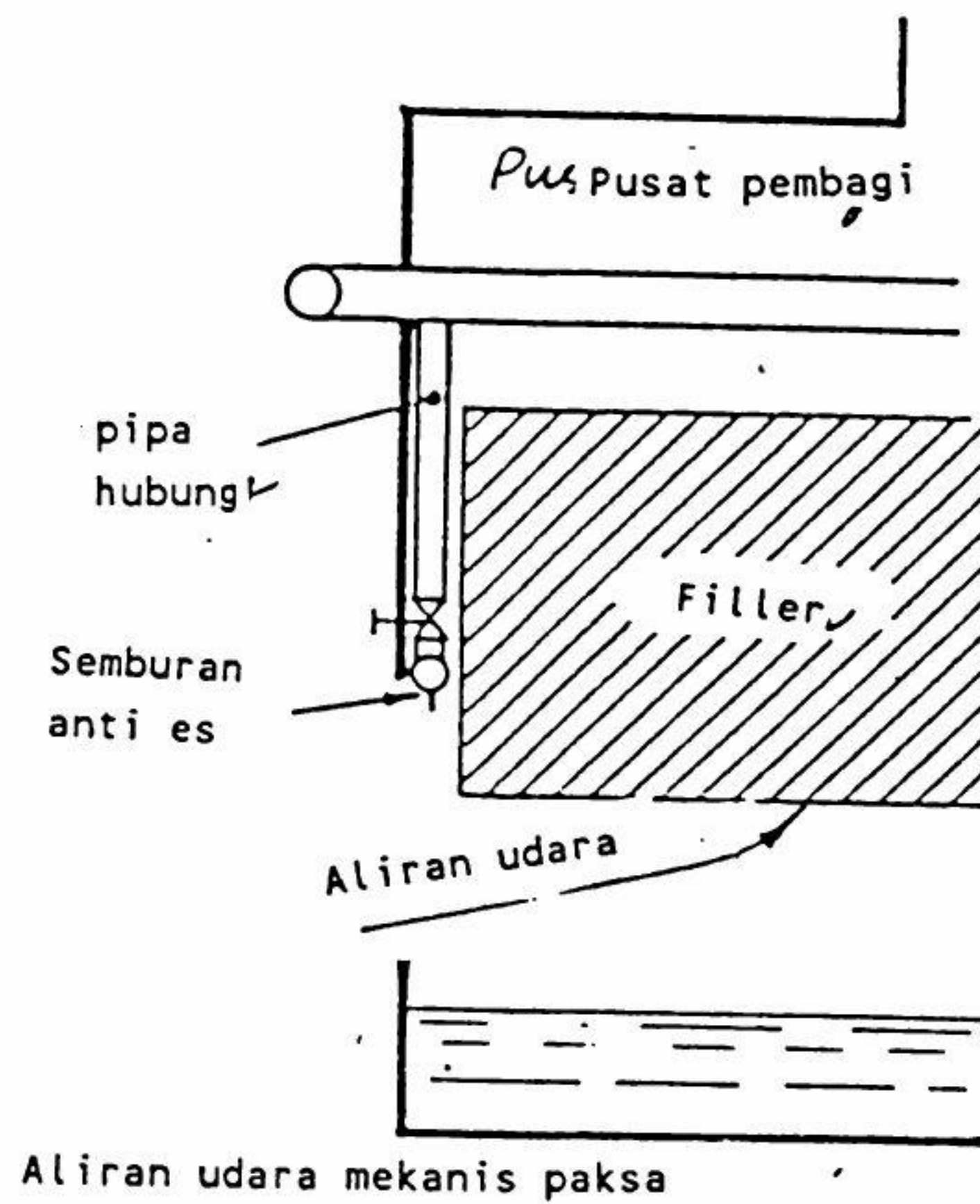
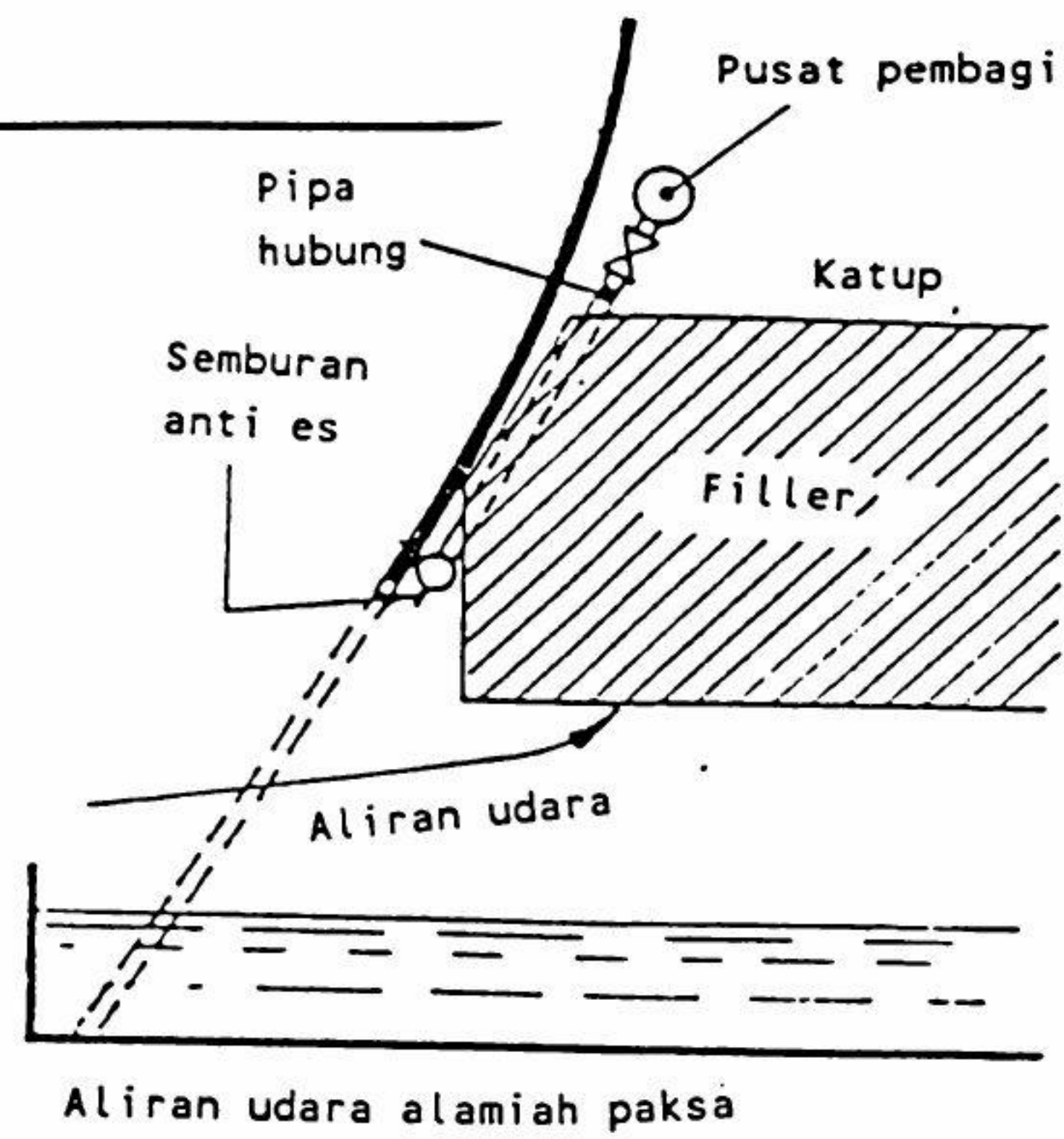
Gambar 19 - Hubungan antara Ratio Pembilasan



Gambar 20 - Karakteristik Kolam



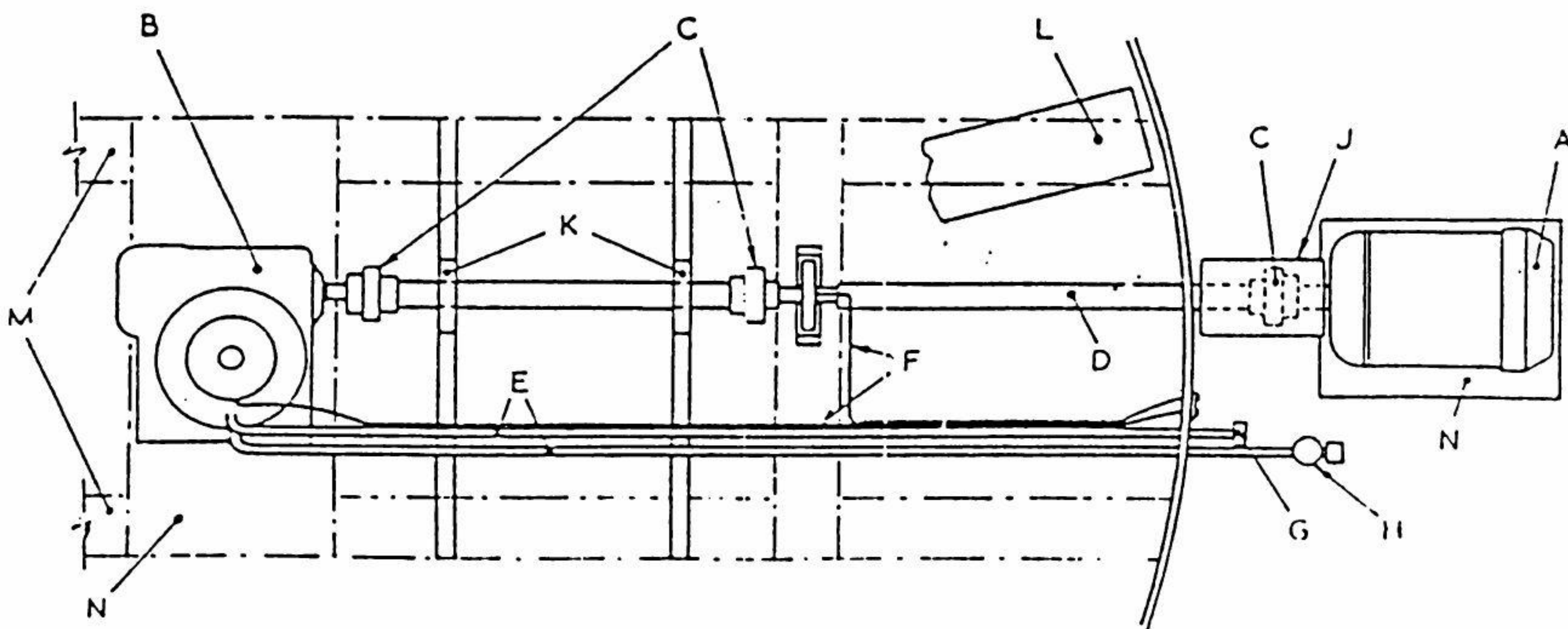
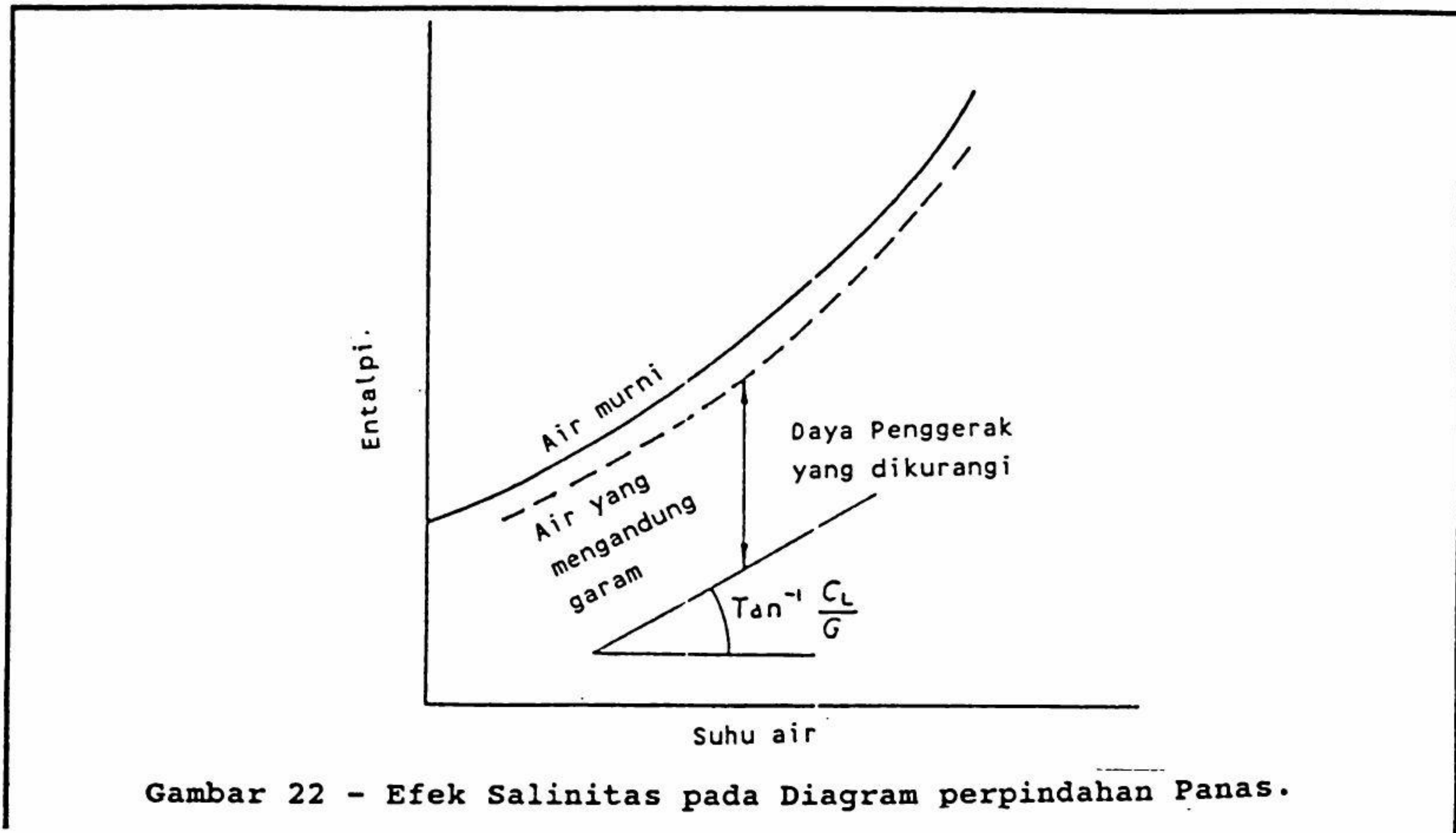




Gambar 21 - Persiapan Anti Es







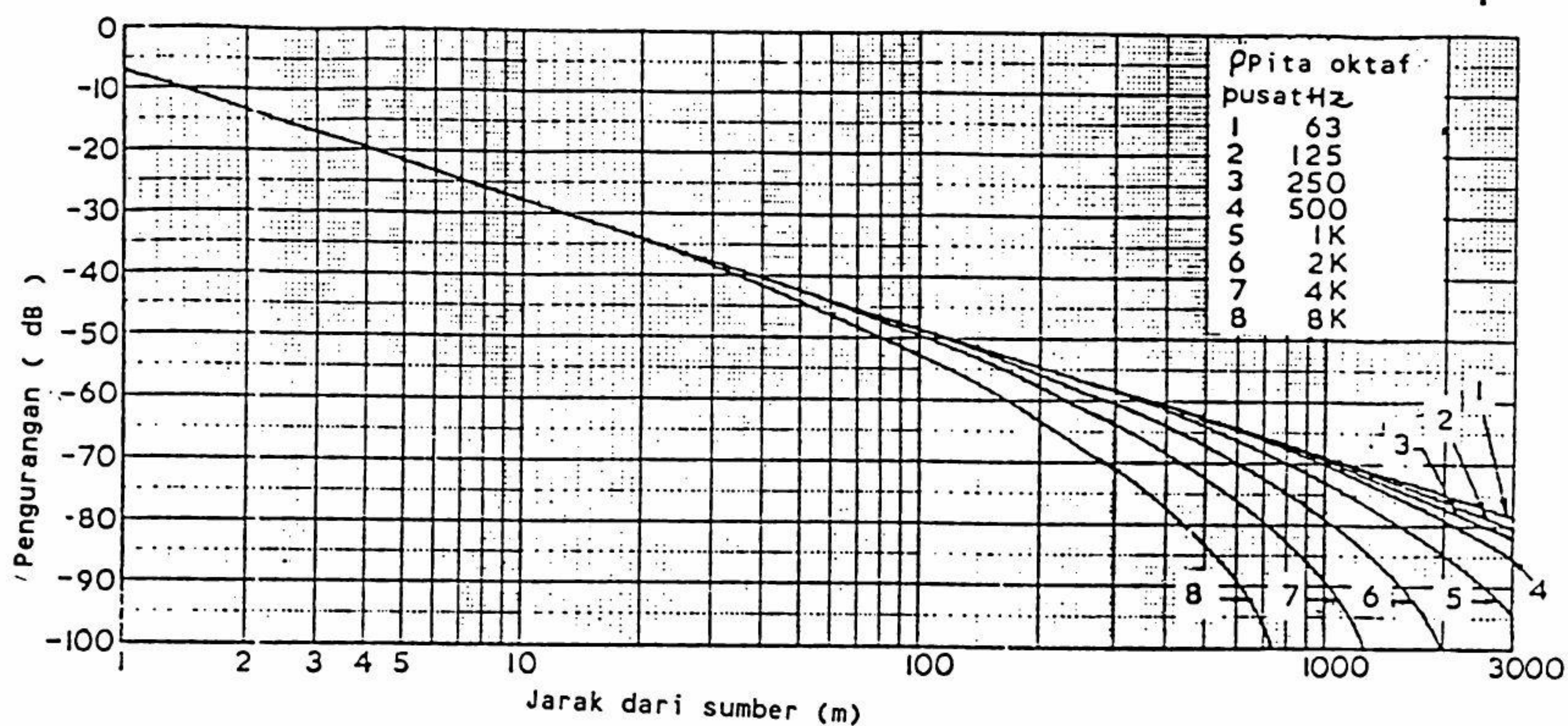
- A. Penggerak Kipas
- B. Roda gigi reduksi kecepatan
- C. Kopling
- D. Poros yang terdiri atas, satu atau dua bagian
- E. Batas pengisian oli pada roda gigi dan pipa pembuangan.
- F. Saluran gemuk kesemua bantalan
- G. Saklar anti getaran
- H. Tongkat untuk kontrol ketinggian oli, juga pengisian dan pembuangan.
- I. Kopling penerima
- J. Kopling retaining straps
- K. Pelindung poros
- L. Roda gigi
- M. Tumpuan roda gigi dan motor

Gambar 23 - Persiapan untuk penyetelan kipas aliran induksi.

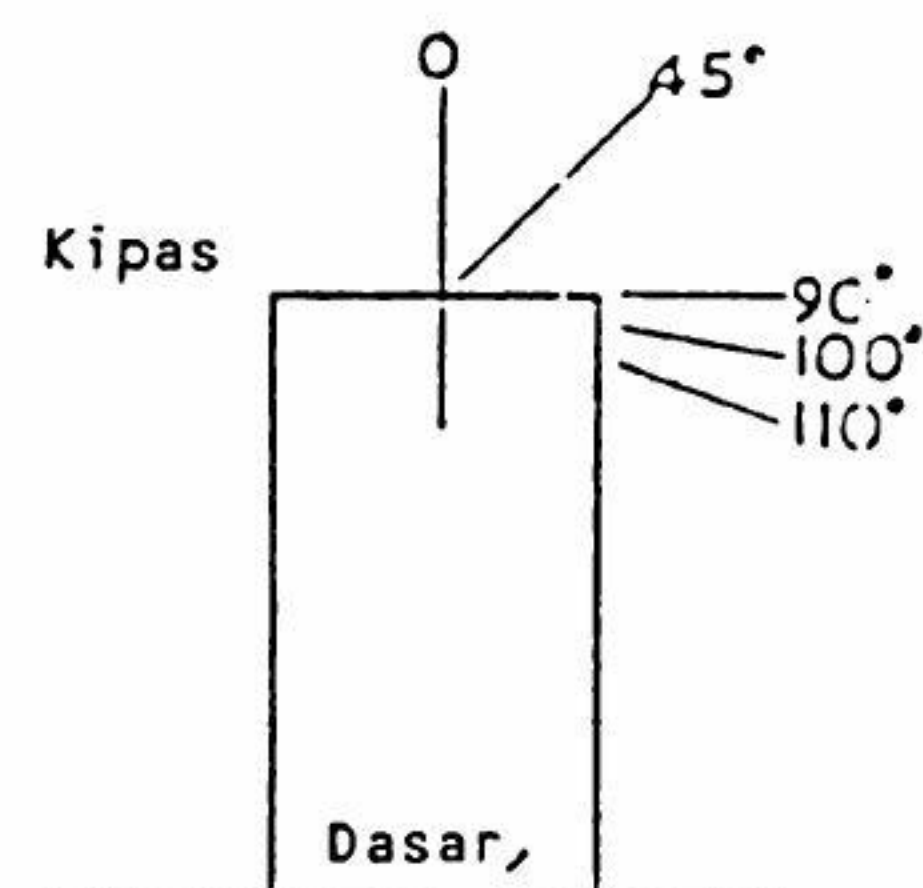
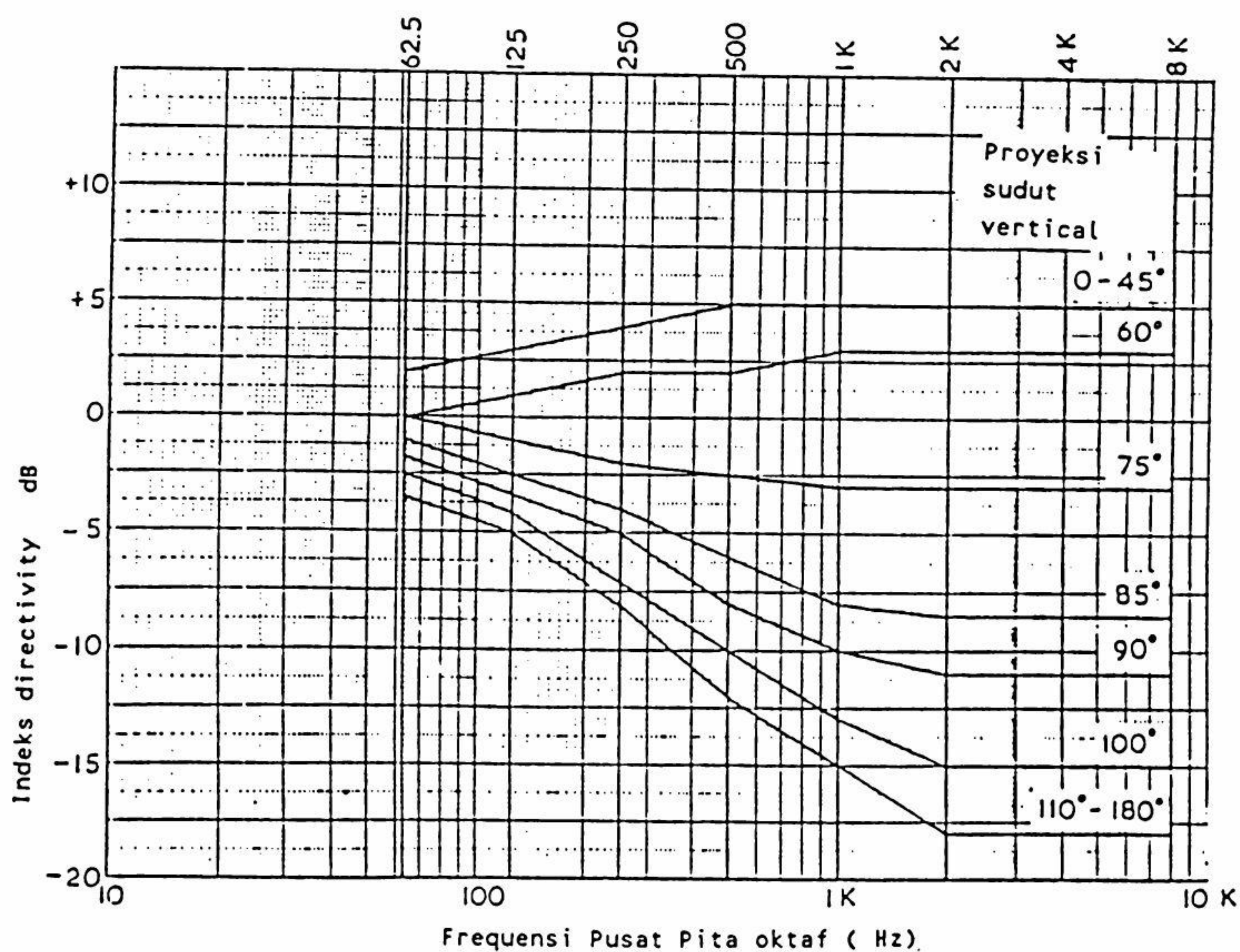




Untuk penyebaran setengah bola dan tingkat sumber daya suara  $10^{12} \text{ W}$  dan tingkat tekanan suara  $2 \times 10^{-5} \text{ N/m}^2$ .



Gambaran 24 - Pengurangan jarak dari sumber



Catatan :

Untuk tinggi cerobong kurang dari 10 m, adalah 90°.

Gambaran 25 - Perbaikan Directivity.











